

Departement für Nutztiere, Abteilung für Wiederkäuerchirurgie  
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Direktor Prof. Dr. Dr. h. c. U. Braun

Arbeit unter Leitung von  
Prof. Dr. Karl Nuss

**Klauenbelastung von Jungrindern und Kühen  
beim Stehen auf verschiedenen Gummimatten**

**Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

**Anita Bruderer**

Tierärztin  
von Zürich

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. Karl Nuss, Referent  
Prof. em. Dr. Hans Geyer, Korreferent

**Zürich, 2015**

## **Inhalt**

1. Zusammenfassung.....	4
2. Summary .....	6
3. Einleitung und Zielsetzung .....	8
4. Literaturübersicht.....	10
4.1 Neue Erkenntnisse zur angewandten Anatomie der Rinderklaue.....	10
4.2 Bewegungsablauf der Zehen von Rindern im Schritt.....	11
4.3 Bodenbeschaffenheit und Klauengesundheit.....	12
4.3.1 Unterschiede in den Haltungssystemen .....	12
4.3.2 Rutschfestigkeit von Bodenbelägen.....	12
4.3.3 Einsatz von Gummimatten.....	13
4.3.4 Klauenerkrankungen bei verschiedenen Bodenbelägen .....	14
4.4 Druckmessungen.....	15
4.4.1 Messsysteme zur Analyse der physiologischen Kraft- und Druckverteilung unter Rinderklauen.....	15
4.4.2 Messungen bei verschiedenen Bodenbeschaffenheiten .....	18
4.4.3 Anwendung von Druckmesssystemen in der Lahmheitsdiagnostik ....	19
5. Tiere, Material und Methodik.....	21
5.1 Tiere .....	21
5.2 Messstand.....	22
5.3 Messsystem.....	23
5.4 Gummimatten .....	25
5.5 Versuchsvorbereitung .....	26

5.6	Versuchsdurchführung.....	27
5.7	Ermittelte Parameter .....	28
5.7.1	Untersuchungsparameter in Bezug auf die Gesamtbelastung.....	28
5.7.2	Untersuchungsparameter innerhalb einer Gliedmasse.....	28
5.7.3	Untersuchungen mit Gummimatten.....	30
5.8	Statistik .....	31
6.	Resultate.....	33
6.1	Rinder.....	33
6.1.1	Verteilung der Gewichtskraft zwischen Vorder- und Hintergliedmassen.....	33
6.1.2	Verteilung der Gewichtskraft innerhalb einer Gliedmasse.....	33
6.1.3	Verteilung der Gewichtskraft innerhalb einer Klaue .....	35
6.1.4	Fläche der Klauenabdrücke.....	38
6.1.5	Mittlerer Druck .....	42
6.1.6	Maximaler Druck .....	44
6.2	Kühe.....	49
6.2.1	Verteilung der Gewichtskraft zwischen Vorder- und Hintergliedmassen.....	49
6.2.2	Verteilung der Gewichtskraft innerhalb einer Gliedmasse.....	50
6.2.3	Verteilung der Gewichtskraft innerhalb einer Klaue .....	52
6.2.4	Fläche der Klauenabdrücke.....	57
6.2.5	Mittlerer Druck .....	62
6.2.6	Maximaler Druck .....	66
7.	Diskussion.....	73

7.1	Material und Methodik .....	73
7.2	Ergebnisse .....	76
7.3	Ausblicke .....	87
7.4	Schlussfolgerungen .....	87
8.	Literaturverzeichnis .....	89
9.	Danksagung	
10.	Lebenslauf	
11.	Anhang	

## **1. Zusammenfassung**

Ziel der hier vorliegenden Arbeit war es, die Druck- und Kraftverteilung unter den Klauen von Rindern, die auf verschiedenen Gummimatten oder auf einer geeigneten Standfläche standen, zu messen und zu vergleichen. Dadurch sollten mögliche Einflüsse der Belastung auf die Klauengesundheit näher untersucht werden.

Zu diesem Zweck wurde die Druck- und Kraftverteilung unter den Klauen der Schulter- und Beckengliedmassen von 30 weiblichen Jungrindern und 12 Kühen der Rasse Schweizer Braunvieh mit Messplatten (RSscan International, Olen, Belgien) untersucht. Das verwendete Kraftmesssystem registrierte Bodenreaktionskräfte in X-, Y- und Z-Achse, die dazugehörige Druckmessplatte dynamische Drücke. Die Messungen an den Klauen erfolgten in verschiedenen Positionen. Dabei wurden zwei verschiedene Gummimatten auf die Messeinrichtung gelegt und die Klauenbelastungen bei Jungrindern und Kühen im Stehen gemessen. Bei den Kühen wurden ausserdem die Belastungen der Klauen auf einer festen Standfläche gemessen, die eben oder um 3 % nach Kaudal geneigt war.

Anhand der gesammelten Daten wurde die Gewichtsverteilung zwischen Vorder- und Hintergliedmassen, innerhalb der Gliedmassenpaare, sowie innerhalb einer Gliedmasse, bzw. zwischen Innen- und Aussenklaue ermittelt. Des Weiteren wurden die einzelnen Klauen in zwei Zonen (Klauenspitzenzone und Ballenzone) eingeteilt und für die jeweiligen Zonen die mittleren und maximalen Drücke eruiert. Die Flächen der einzelnen Klauenabdrücke wurden anhand der belasteten Sensoren berechnet.

Das Körpergewicht war bei Rindern und Kühen, unabhängig von der jeweiligen Messposition, zu durchschnittlich 54.1 % auf die Vorder- und zu 45.9 % auf die Hintergliedmassen verteilt. Auf die mediale Klaue der Vordergliedmassen und auf die laterale Klaue der Hintergliedmassen wirkte jeweils eine signifikant grössere Kraft als auf ihre Partnerklauen. Diejenigen Klauen, auf welche die grösste Kraft wirkte, wiesen auch die grössten Flächen der Klauenabdrücke auf. Die Mess-

ergebnisse nach Untersuchung auf ebener und auf 3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte unterschieden sich in allen untersuchten Parametern nicht signifikant. Bei Rindern und Kühen wurden unter der weicheren der beiden Gummimatten, unabhängig von der jeweiligen Zone, die grössten Klauenabdrücke gemessen.

Die *mittleren* Drücke zeigten sich umgekehrt proportional zu den Gesamtflächen der Klauenabdrücke. Hinsichtlich der Zonen war dies jedoch nicht der Fall: Obwohl die Ballenzone der medialen Klaue der Vordergliedmassen und die Ballenzone der lateralen Klaue der Hintergliedmassen die grössten Flächen aufwiesen, wurden in diesen Zonen die höchsten mittleren Drücke gemessen. Einzig unter der weicheren Gummimatte waren die höchsten mittleren Drücke in der Sohlenspitzenzone der Hintergliedmassen lokalisiert. Die höchsten *maximalen* Drücke konnten – bei den Kühen in allen Messpositionen, bei den Rindern lediglich unter der härteren Gummimatte (Kura FE) – auf die Ballenzone der medialen Klauen der Vorder- und auf die Ballenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen lokalisiert werden. Der höchste maximale Druck unter der weicheren Gummimatte (KURA F) bei den Rindern lag an den Vordergliedmassen in der Sohlenspitzenzone der lateralen Klaue.

Damit lagen sowohl die höchsten Kräfte als auch die höchsten mittleren und die höchsten maximalen Drücke in den Bereichen, in denen meist Erkrankungen des Hornschuhs auftreten. Die Hypothese, dass die Ballenzonen bei der Benützung von Gummimatten und bei geneigter Standfläche im Vergleich zu den Messungen bei ebener Standfläche ohne Gummimatte vermehrt belastet sind, konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden. Bei der weichen Gummimatte mit Noppenstruktur wirkten über den Noppen punktuell hohe Drücke auf die Klauen ein, was Druckläsionen zur Folge haben könnte.

## 2. Summary

The larger aim of this study was to investigate the relationship between weight-bearing and claw health in cattle. For this purpose, we measured the ground reaction forces and the pressure distributions in all four claws of cattle standing on a level surface, a surface with a 3% incline toward the front legs and on two different rubber mats (one soft and one hard) on a level surface using the Footscan RSscan International (Olen, Belgium) pressure plate. Thirty heifers (9 to 16 months) and 12 cows (3 to 6 years) of the Swiss Braunvieh breed were studied. The force measurement system measured ground reaction forces in the three axes (x, y and z) and the pressure plate registered dynamic pressures. Measurements in standing cows were made on a level surface, on a surface with a 3% incline toward the front legs and on two different rubber mats that were placed on the level force plate; measurements in the heifers were made only on the two rubber mats. The weight distribution between fore and hind legs, between the paired extremities and between the paired claws was calculated from the pressure data. The sole of individual claws was divided into an anterior toe region and posterior heel region, and for each region the *maximum* and *mean* pressures were determined. The area of the claw prints was derived from the number of activated receptor cells on the force plate. Regardless of the experimental condition, a mean of 54.1% of the body weight was borne by the front legs and 45.9% by the hind legs. The medial claws of the fore limbs and the lateral claws of the hindlimbs sustained significantly greater pressures and had larger claw prints than their partner claws. The measured variables did not differ between the level surface and the surface with a 3% incline. The soft rubber mat was associated with larger claw prints than the hard mat.

The *mean* pressures were inversely proportional to the overall size of the claw print but not to the size of the print of the heel region; although the heel region of the medial claws of the fore limbs and of the lateral claws of the hindlimbs had the

largest prints, these regions were also exposed to the largest *mean* pressures. The greatest *mean* pressures were recorded in the toe region of the hind claws only on the soft rubber mat. The greatest *maximum* pressures were measured in the heel region of the medial claws of the fore limbs and in the heel region of the lateral claws of the hind limbs in the cows under all experimental conditions and in the heifers only on the hard rubber mat (KURA FE). On the soft rubber mat (KURA F), the greatest *maximum* pressure was measured in the heifers in the toe region of the lateral front claws.

The study showed that the *maximum* forces, the greatest *mean* pressures and the greatest *maximum* pressures occurred in the claw regions that are most prone to claw disorders. The hypothesis that the heels are exposed to higher loads on rubber mats and on a slanted surface compared with a level surface without a rubber mat was rejected. The soft rubber mat with a knob-like bottom structure generated focal areas of increased pressure, which could contribute to pressure lesions.



### **3. Einleitung und Zielsetzung**

Klaufen- und Gliedmassenerkrankungen stellen bei Milchkühen ein grosses wirtschaftliches und tierschützerisch relevantes Problem dar. Bei Kühen aus dänischen Betrieben wurde eine jährlichen Sterblichkeitsquote von über 7.6 % festgestellt, und bei 45% dieser euthanasierten oder gestorbenen Tiere lag eine Lahmheit als Todesursache zugrunde (Thomsen et al. 2012). In der Schweiz konnte kürzlich eine Lahmheitsprävalenz von 14.8 % festgestellt werden (Becker et al. 2014). Die meisten Lahmheiten werden durch Klauenerkrankungen ausgelöst (Murray et al. 1996; Hernandez et al. 2002). In Laufställen kommt es, verglichen mit Anbindehaltung, vermehrt zu Lahmheiten (Bergsten und Herlin 1996, Sogstad et al. 2005, Cramer et al. 2008). Dies ist vermutlich auch auf die harten Laufflächen zurückzuführen. Aus diesem Grund wird bei neuen Stalleinrichtungen zunehmend versucht, Bodenbeläge zu verwenden, welche die natürlichen Bewegungsabläufe der Rinder unterstützen und das Wohlbefinden der Tiere steigern. Durch Gummimatten auf Lauf- und Liegeflächen wird versucht, weideähnliche Bedingungen im Stall zu schaffen. Neben vielen Vorteilen, die eine Laufstallhaltung mit Gummimatten bietet, zeigen sich jedoch auch einige Nachteile: Der Klauenabrieb ist vermindert, was eine intensivere Klauenpflege erfordert. Laut einigen Studien nimmt die Inzidenz von Sohlengeschwüren auf Gummiböden im Vergleich zu Betonböden nicht ab, sondern tendenziell zu (Kremer et al. 2007, Fjeldaas et al. 2011). Verschiedene Bodenbeläge haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Klauenbelastung (Vermunt und Greenough 1996, Vanegas et al. 2006, Kremer et al. 2007, Telezhenko et al 2008, Fjeldaas et al. 2011, Haufe et al. 2012). So wurden Druckmessungen an den Klauen von Kühen durchgeführt, welche auf Gummimatten bzw. Asphalt gehalten wurden (Telezhenko et al. 2008), sowie die Auswirkungen verschiedener Bodenbeschaffenheiten auf die Klaue an Modellen untersucht (Franck und De Belie 2006). Die Druckbelastung der Klauen von Rindern, welche direkt auf Gummimatten standen, wurde bisher noch nicht untersucht.

Die Ziele der hier vorliegenden Arbeit waren, die Druck- und Kraftverteilung unter den Klauen von Schulter- und Beckengliedmassen bei gesunden Rindern und Kühen, die auf verschiedenen Gummimatten oder auf einer festen, planen oder geneigten Standfläche standen, zu messen und zu vergleichen. In Bezug auf das Vorkommen von Sohlengeschwüren auf Gummiböden wurde die Hypothese aufgestellt, dass bei der Benützung von Gummimatten, bzw. bei geneigter Standfläche, die Ballenregion vermehrt belastet wird.

## **4. Literaturübersicht**

Die nachfolgende Literaturübersicht beschränkt sich auf Publikationen, welche in engem Zusammenhang mit der Fragestellung der Dissertation stehen. Sie berücksichtigt vor allem die Ergebnisse neuerer Arbeiten.

### **4.1 Neue Erkenntnisse zur angewandten Anatomie der Rinderklaue**

Das Fettpolster der Rinderklaue war in den letzten Jahren vermehrt Gegenstand von Untersuchungen (Bicalho et al. 2009). Im Ballenbereich befinden sich drei längliche, in Längsrichtung der Sohle angeordnete Fettpolster. Diese haben eine stossdämpfende Funktion. Im Bereich des Tuberculum flexorium findet man bei älteren Kühen aber auch bei Erstkalbinnen, von dem kürzeren mittleren Fettpolster oft nur noch die bindegewebige Hülle des Fettpolsters (Bicalho et al. 2009, Räber et al. 2004, Salomon et al. 2005). Dies ist möglicherweise ein mitbestimmender Faktor für das vermehrte Auftreten von Sohlengeschwüren bei älteren Kühen.

Zur Feststellung einer möglichen Längendifferenz zwischen der medialen und der lateralen Zehe wurden die Metatarsal- und Metakarpalknochen von 42 Kälbern und 10 Milchkühen post mortem vermessen. Bei 98.8% der Ossa metatarsalia war der laterale Kondylus länger als der mediale. Von den Ossa metacarpalia wiesen lediglich 52.4 % einen längeren lateralen Kondylus auf, 21.2 % zeigten gleich lange Kondylen und bei 27.4 % konnten längere mediale Kondylen gemessen werden (Nacambo et al. 2007). Diese Befunde wurden anhand von Messungen an Röntgenaufnahmen bestätigt (Schwarzmann et al. 2007, Muggli et al. 2011). So wurden an den Vordergliedmassen in 65 % und an den Hintergliedmassen in 91 % längere laterale Kondylen gemessen (Muggli et al. 2011). Zusätzlich zu den Röhrenbeinen wurden in diesen Röntgenuntersuchungen die Fessel-, Kron- und Klauenbeinlänge vermessen und daraus die Gesamtlängen der Zehen berechnet. Bei 90.1 % der untersuchten Gliedmassen war die Gesamtlänge der lateralen Zehe grösser, bei 7.9 % waren die Zehen gleich lang und bei 2.0 % war die mediale Zehe länger (Schwarzmann et al. 2007). Die Hintergliedmassen wiesen grössere Unterschiede

auf als die Vordergliedmassen. Im Gegensatz zu den übrigen Zehenknochen waren die Klauenbeine meist an den medialen Zehen länger als an den lateralen. Dies vermochte allerdings nicht den Gesamtlängenunterschied zwischen medialer und lateraler Zehe auszugleichen (Schwarzmann et al. 2007).

Die Sohlenflächen der lateralen Klauen waren bei Kälbern an allen Gliedmassen in der Regel grösser als die medialen (Schwarzmann et al. 2007). Nach früheren Untersuchungen (Ossent et al. 1987, Alsleben et al. 2002, 2003) sollten diese Unterschiede infolge vermehrter Belastung der lateralen Klaue erst ab einem Alter von zwei Jahren auftreten.

#### **4.2 Bewegungsablauf der Zehen von Rindern im Schritt**

Der Bewegungsablauf von Rindern und Kühen auf dem Laufband wurde anhand der Hochgeschwindigkeitskinematographie beurteilt (Meyer et al. 2007, Schmid et al. 2009). Die Zehen der Vordergliedmassen wurden im Schritt mit einer leichten Einwärtsdrehung vom Boden abgehoben und berührten dann den Boden mit einer leichten Auswärtsdrehung. Sowohl vor als auch nach der funktionellen Klauenpflege berührten bei Rindern mehr Zehen (92 % bzw. 83 %) den Boden zuerst mit der lateralen Klaue, wobei in 78 % der Bodenkontakte die Ballenregion und in 22 % der abaxiale Wandbereich zuerst belastet wurden. Bei wenigen Tieren hatten Aussen- und Innenklaue gleichzeitig Bodenkontakt. Auch laktierende Kühe zeigten eine gleichartige Fussung. Die Belastung einer Gliedmasse erfolgte demnach zuerst über den Ballen und danach über die Spitze der lateralen Klaue, gefolgt vom Ballen und der Spitze der medialen Klaue.

Auch Van der Tol et al. (2003) hatten anhand von Druck- und Kraftmessungen festgestellt, dass an den Hintergliedmassen die Bodenreaktionskraft bei Ballenkontakt fast ausschliesslich auf die laterale Klaue ausgeübt wurde und sich dann erst auf die mediale verschob. Die Kraftverteilung zwischen Innen- und Aussenklaue beim Abstossen der Gliedmasse war annähernd gleich.

### **4.3 Bodenbeschaffenheit und Klauengesundheit**

#### *4.3.1 Unterschiede in den Haltungssystemen*

Im Vergleich zur Anbindehaltung kommt es in Laufställen vermehrt zu Lahmheiten (Bergsten und Herlin 1996, Sogstad et al. 2005, Cramer et al. 2008). Dies kann oft auf die Beschaffenheit der Böden zurückgeführt werden, die in Laufställen, sowohl auf den Gängen, wie auch in den Liegeboxen häufig zu hart ist (Telezhenko 2007). Allerdings war die Prävalenz von Lahmheiten in Laufställen mit Sand-Liegeboxen (21.2 %) ähnlich gering wie in Anbindehaltung ohne Sandeinstreu (21.7 %) (Cook 2003). In der zuletzt genannten Untersuchung zeigten in Anbindehaltungen mit Sandeinstreu lediglich 12.1 % der Milchkühe eine Lahmheit, wohingegen in Laufställen ohne Sand-Liegeboxen Lahmheiten am häufigsten auftraten (33.7 %).

#### *4.3.2 Rutschfestigkeit von Bodenbelägen*

Die Schweizer Tierschutzverordnung (TSchV Art. 34) besagt, dass befestigte Böden, auf denen Haustiere gehalten werden, gleitsicher und ausreichend sauber sein müssen. Betonböden gewährleisten diese Vorgabe nach einigen Jahren auf Grund von Veränderungen der Oberflächenbeschaffenheit oft nicht mehr. Sie verlieren ihre rutschhemmende Wirkung durch Verkalkung und mechanischen Verschleiss (Steiner 2007). Eine Sanierung ist oft schon nach vier bis fünf Jahren nötig. Verschiedene Sanierungsmassnahmen haben jedoch den Nachteil, dass die Wiederherstellung der Oberflächenbeschaffenheit nur unvollständig ist und sekundäre Schäden, wie scharfe oder ausgebrochene Kanten bei Spaltenböden, entstehen. Oftmals wird daher statt einer Sanierung die Verwendung von Gummibelägen empfohlen. Diese sind zwar im Vergleich zur Betonbodensanierung mit höheren Investitionen verbunden, aber im Gegenzug dazu verfügen sie über die Vorteile der Elastizität und der längeren Nutzungsdauer.

#### *4.3.3 Einsatz von Gummimatten*

Neue Bodenbeläge für Laufställe zielen darauf ab, die natürlichen Bewegungsabläufe und die natürliche Klauenbelastung der Rinder zu unterstützen. Zu diesem Zweck kommen vermehrt Gummimatten zum Einsatz, die über mehr Reibung und eine grössere Kompressibilität verfügen (Rushen und de Passillé 2006). Das Wohlbefinden der Tiere wird auf Gummiböden gesteigert, was an verbesserter Körperpflege und vermehrtem Aufspringen im Östrus erkennbar ist (Platz et al. 2008, Telezhenko et al. 2007). Tiere, welche die Wahl zwischen harten und weichen Böden haben, bevorzugen den weicheren Untergrund (Gregory und Taylor 2002, Tucker et al. 2006, Telezhenko et al. 2007). Allerdings konnte festgestellt werden, dass das Auslegen der Gänge mit Gummimatten Lahmheiten oder Klauenläsionen nicht vorzubeugen vermochte (Vokey et al. 2001).

Aktuell erhältliche Gummimatten wurden durch Prüfstellen auf Verschleissfestigkeit, Haltbarkeit und Alterung, sowie auf Handhabung und Verlegung getestet (Reubold 2004). Zudem wurden tierbezogene Kriterien, wie Verhalten, Rutschfestigkeit, Klauen, Verformbarkeit und Elastizität, sowie die toxikologische Unbedenklichkeit beurteilt (Reubold 2004). Keine der geprüften Gummimatten wies einen Reibungskoeffizient unter 0.45 auf, sowohl in trockenem, wie auch in nassem oder verschmutztem Zustand (Reubold 2008). Der Gleitreibungskoeffizient geht aus der Reibungskraft und der vertikalen Kraft eines Objektes hervor (Chang et al. 2001a, Chang et al. 2001b) und sollte für Rinder mindestens 0.4 betragen (Phillips und Morris 2001, van der Tol et al. 2005). Liegt der Reibungskoeffizient unter dem genannten Wert, so kommt es zu vermehrtem Rutschen. Die Verformbarkeit der Matten ist von der Gummimischung, wie auch von der Profilierung auf der Unterseite abhängig. Die Verformbarkeit blieb bei allen getesteten Matten nach Dauertrittbelastung mit einem Stahlfuss mit 250000 Wechselbelastungen bei 5000 N annähernd erhalten. Dies lässt auf die Langlebigkeit der Gummimatten

schliessen, da die gemessenen 250000 Wechselbelastungen bei 5000 N eine zehnjährige Belastung simulierten (Reubold 2008).

#### *4.3.4 Klauenerkrankungen bei verschiedenen Bodenbelägen*

Das Haltungssystem und die Bodenbeschaffenheit spielen eine wichtige Rolle bei der Entstehung und der Ausprägung von verschiedenen Klauenerkrankungen. So wiesen Kühe in Laufställen mit Betonböden in den Laufgängen und Gummimatten in den Liegeboxen signifikant mehr Sohlenblutungen auf als Kühe, welche auf der Weide gehalten wurden (Vermunt und Greenough 1996). Im Gegensatz dazu kam es sowohl bei Lägern mit und ohne Gummimatten im Laufe der Zeit zu einer signifikanten Verschlechterung der Klauengesundheit, wobei diese bei Haltungssystemen ohne Gummimatten ausgeprägter war (Leonard et al. 1994).

Pathologische Veränderungen an den Klauen, wie zum Beispiel Sohlenblutungen, traten nach der Kalbung bei 94 % der primiparen und bei 66 % der multiparen Kühe auf (Bergsten und Herlin 1996), welche entweder in Anbindeställen auf Gummimatten oder in Laufställen mit Betonspaltenböden in den Laufgängen und Gummimatten in den Liegeboxen gehalten wurden. Bei Kühen, welche auf Betonböden gehalten wurden, wurden im Vergleich zu Kühen mit ganztägiger Weidehaltung vermehrt Sohlenblutungen im Übergang vom Sohlen- zum Ballenhorn festgestellt (Vermunt und Greenough 1996).

Neuere Untersuchungen (Kremer et al. 2007, Fjeldaas et al. 2011, Haufe et al. 2011) zum Vergleich von Gummi- und Betonlaufflächen beschreiben, dass Gummimatten in Laufgängen keinen positiven Effekt auf das Auftreten von Sohlengeschwüren haben. So wiesen laut Kremer et al. (2007) 23 % der seit 150 Tagen laktierenden Kühe, die auf Spaltenböden mit Gummimatten gehalten wurden Sohlenulzera auf, im Vergleich zu 11 % auf Betonspaltenböden. Allerdings zeigen Kühe mit Sohlengeschwüren, die auf Gummimatten gehalten wurden ein deutlich besseres Gangbild als auf Betonboden (Flower et al. 2007). Ähnlich wie Kremer et al. (2007) beschreiben auch Fjeldaas et al. (2011) ein häufigeres Auftreten von

Sohlenulzera auf Gummiböden im Vergleich zu Betonböden, mit und ohne Spalten. Dies kann allerdings bei genauerer Betrachtung der angegebenen Zahlen nicht *vollständig* nachvollzogen werden (Auftreten von Sohlenulzera auf Gummiböden 3.1 %, auf planen Betonböden 4.2 % und auf Betonspaltenböden 2.2 %).

#### **4.4 Druckmessungen**

##### *4.4.1 Messsysteme zur Analyse der physiologischen Kraft- und Druckverteilung unter Rinderklauen*

Erste Untersuchungen zur Belastung der Klauen von Rindern wurden mit einer 24 cm x 22 cm grossen Doppel-Kraftmessplatte vorgenommen (Ossent et al. 1987). Diese enthielt pro Plattenhälfte drei Ringe, durch deren Verformung die einwirkende Kraft gemessen werden konnte. Für die Messungen wurden die Gliedmassen jeweils so positioniert, dass die mediale und die laterale Klaue auf der jeweiligen Plattenhälfte zu stehen kamen. Die Messungen an 24 Rindern kurz vor und sechs, acht und zehn Wochen nach der Kalbung zeigten, dass sich die Belastung der Klauen mit der Abkalbung veränderte. So wurden Aussen- und Innenklaue vor der Abkalbung annähernd gleich belastet, wohingegen das Gewicht nach der Abkalbung vermehrt von der lateralen Klaue der Hintergliedmassen getragen wurde (Ossent et al. 1987).

Mair et al. (1988) massen die Klauenbelastung der rechten Schultergliedmasse von Kühen mit einer Messplatte, einem Signalprozessor, einer Matrixsteuerung und einer zentralen Kontrolleinheit (für die Prüfung, die Speicherung und die Dokumentation von Testprozessen und Resultaten). Die Messplatte wandelte die bei der Belastung auftretenden Kräfte in analoge elektrische Signale um, welche durch den Signalprozessor in digitale Signale übertragen wurden. Die Funktion der Matrixsteuerung bestand in der Auswahl der Messsensoren auf der Platte. Die Messplatte war 14 cm x 28 cm gross und wies vier Sensoren pro cm<sup>2</sup> auf. Die Messungen erfolgten so, dass die Druckverteilung der Klauen von vier Holstein-Friesian-



Kühen jeweils über eine halbminütige Messperiode aufgenommen wurde, wobei jede Sekunde ein Bild registriert wurde. Es wurden in diesem Fall nur die rechten Vordergliedmassen gemessen. Die Sohlenfläche betrug zwischen 35 und 46 cm<sup>2</sup> und der mittlere Druck 21 N/cm<sup>2</sup>. Die höchsten gemessenen Drücke unterschieden sich stark zwischen den Tieren und reichten von 73 bis 127 N/cm<sup>2</sup>. In allen Fällen lagen die höchsten Drücke in der kaudalen Region der Klauenabdrücke. Zudem wurde festgestellt, dass das Gewicht auf den äusseren Rand der Klaue verteilt war, während auf der Sohlenfläche kein Gewicht lastete.

Auch Van der Tol et al. (2002) stellten fest, dass die höchsten Drücke in der Sohlen-Ballenregion der Vordergliedmassen auftraten. Ihr Messsystem umfasste eine Druckmessplatte von 488 mm x 325 mm mit 2.6 Sensoren pro cm<sup>2</sup>. Dies entsprach einer Gesamtheit von etwa 4096 Messsensoren. Mit einer Frequenz von 313 Bildern pro Sekunde wurden so innert 1.6 Sekunden 500 Bilder gespeichert. Die Messungen in den genannten Untersuchungen fanden an Vorder- und Hintergliedmassen von acht Kühen statt, welche drei oder fünf Wochen vor der Durchführung der Untersuchungen bei Bedarf einer funktionellen Klauenpflege unterzogen worden waren. Van der Tol et al. (2002) stellten fest, dass die höchsten Drücke an den Sohlen und nicht am Tragrand der Klauen zu finden waren. An den Hintergliedmassen wurden an der medialen Klaue die apikalen Anteile der Sohle, an der lateralen Klaue die Ballenregion vermehrt belastet.

Wiederholte Messungen der Druck- und Kraftverteilung unter den Klauen von elf Holstein- und von zehn Braunviehrindern im Lauf der ersten beiden Lebensjahre nahmen Alsleben et al. (2002, 2003) vor. Verwendet wurde ein ähnliches Messsystem wie bei Mair et al. (1988). Die Grösse der Messplatte betrug 23 cm x 40 cm und enthielt insgesamt 2736 Messfühler, wobei pro cm<sup>2</sup> vier Messfühler matrixförmig angeordnet waren. Dies bedeutet, dass die Messfühler so in Zeilen und Spalten angeordnet waren, dass die Lokalisation jedes einzelnen Messfühlers innerhalb der Messplatte genau bekannt war. Pro Messung wurde die Druckvertei-

lung 104mal gemessen, mit einer Geschwindigkeit von 50 Bildern pro Sekunde. Die Messungen erfolgten an der rechten Vorder- und an der linken Hintergliedmasse. Bei Holsteinrindern im Alter von zwei Monaten trug die mediale Klaue an den Vordergliedmassen einen Anteil von 68 %, an den Hintergliedmassen von 72 % des Gewichtes (Alsleben et al. 2002, 2003). Eine entsprechend ähnliche Gewichtsverteilung fanden die Autoren auch im Alter von sechs Monaten. Im Alter von zwölf Monaten hatte sich der Unterschied zwischen Innen- und Aussenklaue an den Vordergliedmassen etwas vergrössert, wobei die Innenklauen ca. 70 % des Gewichtes trugen. An den Hintergliedmassen dagegen hatte sich die Gewichtsbelastung der Innenklaue auf 57 % vermindert, so dass die lateralen Klauen deutlich mehr als die Aussenklauen der Vordergliedmassen belastet waren. Bei Braunviehrindern dieses Alters nahm die Aussenklaue der Hintergliedmassen mit 53 % sogar mehr Gewicht auf als die Innenklaue auf.

Bei 24 Monate alten Holsteinrindern war die Belastung an den Vordergliedmassen annähernd gleichmässig auf die mediale und die laterale Klaue verteilt (Alsleben et al., 2002, 2003). Bei Braunviehrindern jedoch war eine vermehrte Belastung der Aussenklaue (59 %) eingetreten. An den Hintergliedmassen wurden zu diesem Zeitpunkt bei beiden Rassen die Aussenklauen vermehrt belastet (Braunvieh 53 %, Holstein 54 %). In ähnlicher Weise wie die relative Belastung der Klauen veränderte sich mit zunehmendem Alter der Rinder auch das Verhältnis der Fussungsflächen zwischen medialer und lateraler Klaue (Alsleben et al. 2002, 2003).

Bei zwei Monate alten Holsteinrindern wiesen die Innenklauen von Schulter- und Beckengliedmassen eine grössere Fläche als die Aussenklauen auf, wo hingegen bei Rindern im Alter von 24 Monaten an den Aussenklauen die grössere Fussungsfläche festzustellen war (Alsleben et al. 2002, 2003). Bei allen Messungen war der mittlere Druck unter der gesamten Fussungsfläche der Klauen der Vordergliedmassen grösser als an denen der Hintergliedmassen. Die mediale Klaue wies

verhältnismässig mehr hohe Drücke auf als die laterale, sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmassen (Alsleben et al. 2002, 2003).

#### *4.4.2 Messungen bei verschiedenen Bodenbeschaffenheiten*

Telezhenko et al. (2008) führten Messungen an der linken Beckengliedmasse von 127 Kühen durch, welche auf Asphalt-, Beton- oder Gummilaufflächen gehalten wurden. Die Messungen erfolgten vor Beginn der Weidesaison. Bei dem verwendeten Messsystem handelte es sich um das sogenannte I-Scan-System (Tekscan Inc., Boston, MA), welches Hard- und Software-Komponenten vereinte. Es bestand aus einer ultradünnen Platte mit 3.202 Messfühlern pro  $\text{cm}^2$ , die die vertikal auftretenden Kräfte in N messen konnten. Durch diese Sensoren wurden drei Messungen pro Kuh mit jeweils 500 Bildern durchgeführt. Die Messfrequenz entsprach 100 Bildern pro Sekunde. Die Klauen von Kühen, welche auf stark abrasivem Asphalt gehalten wurden, wiesen eine grössere Kontaktfläche auf und zeigten infolgedessen einen geringeren Gesamtdruck. Die grössere Gesamtkontaktfläche kam durch eine Zunahme der Kontaktfläche der Sohlenzone zustande, wohingegen die Ballenregion eine fast gleichbleibende und die Wandzone eine signifikant kleinere Kontaktzone aufwies verglichen mit Kühen, die auf weniger abrasiven Böden gehalten wurden. Da sich die Kontaktzone bei Kühen, die auf weniger abrasiven Böden gehalten wurden, kleiner darstellte, war auch der gemessene Gesamtdruck grösser.

Die Auswirkungen verschiedener Oberflächenbeschaffenheiten auf die Klaue wurde an Modellen untersucht (Hinterhofer et al. 2005). Verwendet wurden hierfür finite Elemente. Die Berechnungen erfolgten anhand eines harten und eines weichen Bodens mit einem Elastizitätsmodul von  $0.5 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $1000 \text{ N/mm}^2$ . Auf weichem Untergrund konnte die Klaue bis zu 2.06 mm einsinken, wohingegen auf hartem Boden nur ein Einsinken von bis zu 0.04 mm möglich war. Auf weichem Boden war die grösste Belastung an der axialen Wand im Kronsaumbereich zu finden und betrug  $4.82 \text{ N/mm}^2$ . Auf hartem Untergrund war die Belastung

insgesamt viel grösser. Die maximale Belastung von  $13.5 \text{ N/mm}^2$  konnte im Bereich des distalen Randes der Klauenwand lokalisiert werden. Unter der Annahme, dass die Kuh am Lägerrand stand und die Ballen somit frei in der Luft schwebten, waren am Übergang von der unterstützten zur nicht unterstützten Klauenfläche sogar Werte bis zu  $18 \text{ N/mm}^2$  zu finden (Hinterhofer et al. 2006).

Für ein anderes Modell wurden die Hornschuhe von 20 Gliedmassen von frisch geschlachteten Kühen so präpariert, dass die Hornschuhe fest in Epoxidharz eingebettet waren. Die Sohlenflächen standen über, die Klauen konnten sich aber nicht gegeneinander verschieben (Franck und De Belie 2006). Die so präparierten Klauen wurden in der Folge auf Betonplatten mit verschiedenen rauen Oberflächen gedrückt, wobei ein dazwischen eingelegter Film mit 15 elektronischen Sensoren pro  $\text{cm}^2$  die auftretenden Drücke mass. Gemessen wurden mit Kräften von 2 oder 6 kN, was den Gewichten entspricht, die beim Stehen oder bei einem Sprung beziehungsweise beim Galopp auf eine Gliedmasse einwirken (Franck und De Belie, 2006). Die Analyse der Messwerte ergab, dass die Klaue selbst, die Belastung und die Oberflächenbeschaffenheit einen signifikanten Effekt auf die Kontaktfläche und die Maximaldrücke hatten. So wurden die höchsten Maximaldrücke im Zusammenhang mit den rausten Oberflächen gefunden und die Kontaktfläche wurde mit zunehmender Belastung grösser. Die mittleren Drücke wurden ebenfalls signifikant durch die Klaue selbst und durch die Beschaffenheit der verschiedenen Oberflächen, nicht aber durch die Grösse der Belastung beeinflusst.

#### *4.4.3 Anwendung von Druckmesssystemen in der Lahmheitsdiagnostik*

Neveux et al. (2006) liessen lahmheitsfreie Kühe mit einer oder zwei Gliedmassen auf unbequemem Untergrund stehen und massen dabei die Gewichtsverteilung unter allen Gliedmassen. Die Messungen erfolgten auf einer Plattform, welche das Gewicht, das auf jeder Gliedmasse lastete, messen konnte. Wenn eine Vordergliedmasse auf einem unbequemen Boden fusste, wurde das Gewicht auf die kontralaterale Seite sowie auf die ipsilaterale Hintergliedmasse verlagert. Bei den Hin-

tergliedmassen wurde das Gewicht nur auf die kontralaterale Seite verlagert, nicht aber auf die Vordergliedmassen. Wenn beide Vordergliedmassen auf unbequemem Boden positioniert waren, wurde das Gewicht auf die Hintergliedmassen verlagert. Standen allerdings die Hintergliedmassen auf dem unbequemen Untergrund, konnte keine Gewichtsverlagerung in Richtung der Vordergliedmassen beobachtet werden.

Die mögliche Anwendung von Kraftmessplatten in der Lahmheitsdiagnostik wurde in mehreren Publikationen beschrieben. Ghotoorlar et al. (2011) verwendeten vier in einem Klauenpflegestand eingelassene Kraftmessplatten und kamen so zu einer Sensitivität und Spezifität bei den Lahmheitsgraden 1/5 bis 4/5 von über 72 %. Beim Lahmheitsgrad 5/5 betrug die Spezifität 100 %, die Sensitivität allerdings nur 50%. Ähnliche Resultate fanden auch Liu et al (2011), die die kinetischen Daten von gesunden und einseitig lahmen Kühen mittels Kraftmessplatte sammelten. Auch nach ihren Untersuchungen war der Nachweis einer Lahmheit mit zunehmendem Lahmheitsgrad wahrscheinlicher. Im Vergleich der Lahmheitserkennung durch das Modell mit der klinischen Lahmheitserkennung war auch hier die Sensitivität mit 51.9 % gering, die Spezifität mit 88.8 % etwas besser.

Chapinal et al. (2012) verwendeten Kraftmessplatten, um Schritte und die Gewichtsverschiebung zwischen den kontralateralen Gliedmassen an stehenden Kühen zu zählen. Dazu wurde ein Schwellenwert ermittelt, der es ermöglichte, leichte Gewichtsverschiebungen von Schritten zu unterscheiden. Kühe mit einer Lahmheit zeigten in einer Minute mehr Schritte der Hintergliedmassen als nicht lahme Kühe. Auf die verschiedenen Lahmheitsgrade oder -ursachen wurde in dieser Untersuchung allerdings nicht weiter eingegangen.

## **5. Tiere, Material und Methodik**

### **5.1 Tiere**

Der erste Teil der Messungen wurde an 30 weiblichen Jungrindern der Rasse Schweizer Braunvieh durchgeführt (Anhang 1). Sie wurden von fünf verschiedenen Landwirten zur Verfügung gestellt, für die Untersuchungen an das Departement für Nutztiere transportiert und dort zeitweise aufgestellt.

Das Alter der Rinder betrug im Mittelwert 11,4 Monate (Min. 9, Max. 16 Monate). Ihr Körpergewicht wurde vor den jeweiligen Messungen auf der Brückenwaage ermittelt und lag bei durchschnittlich 348.4 kg (Min. 260, Max. 463).

Von den 30 Rindern stammten 24 aus Laufstallhaltungen mit Auslauf. Von diesen wurden zwölf auf Asphalt mit Strohliegeboxen und drei auf Gummimatten gehalten. Weitere sechs Rinder waren in einem Laufstall untergebracht, welcher sowohl Spaltenboden-, Beton- und Gummimattenanteile enthielt. Der Bodenbelag in den Laufställen der verbleibenden drei der 24 Rindern war unbekannt. Die restlichen sechs von 30 Tieren wurden im Heimatbetrieb in Anbindehaltung mit regelmässigem Weidegang gehalten. Dabei standen sie auf Kurzstroh, Sägemehl, oder Gummimatten. Gefüttert wurden die 30 Rinder vor allem mit Heu und Gras, teilweise mit Kraftfutter und Silage.

Nebst den Jungrindern wurden im zweiten Versuchsteil an 12 Kühen, ebenfalls der Rasse Schweizer Braunvieh zugehörig, Messungen durchgeführt (Anhang 2). Fünf davon stammten vom tierspital-eigenen Betrieb „Stigenhof“, bei einer Kuh handelte es sich um die tierspital-eigene Kuh und zwei Kühe wurden von einem Landwirt zur Verfügung gestellt. Die übrigen vier Tiere wurden von Bauern zur Verfügung gestellt, die ihre Kühe auf Grund einer Erkrankung, die nicht den Bewegungsapparat betraf, ans Tierspital Zürich gebracht hatten. Von den zwölf Kühen stammten acht aus Anbindehaltung und zwei aus Laufställen, bei zwei Tieren

war die Haltung im Heimatbetrieb unbekannt. Voraussetzung für die Messungen war, dass die Kühe zu diesem Zeitpunkt bei gutem Allgemeinzustand und ohne Lahmheit waren. Zudem durften die Klauen der Kühe keine Läsionen aufweisen und das Klauenhorn musste genügend dick sein, sodass eine allfällige Korrektur der Klauenform mittels funktioneller Klauenpflege möglich war. In den Versuch mit einbezogen wurden weiterhin nur Kühe mit einer Trächtigkeitsdauer von zwei bis fünf Monaten. Das Alter der Kühe lag zwischen drei und sechs Jahren, bei einem Durchschnittsalter von 53 Monaten. Das auf der Brückenwaage gewogene Körpergewicht betrug durchschnittlich 641 kg (Min. 550, Max. 748).

Während des Aufenthalts am Tierspital Zürich wurden alle Tiere angebunden auf Gummibodenbelag mit einer Langstroh-Einstreu von 5-10 cm Tiefe gehalten. Die Fütterung bestand aus Heu, Mineral- und Kraftfutter sowie teilweise Grassilage.

## **5.2 Messstand**

Der eigens für die Messungen gebaute, mobile Stand (Weidmann et al. 2014) bestand aus einem 108 cm breiten und 250 cm langen Metallrahmen; 45 cm von dessen Kopfende entfernt wurde über die gesamte Standbreite die footscan-Kraftmessplatte (RSscan International, Olen, Belgien) eingepasst. Die restliche Standfläche vor und hinter der Messeinrichtung bestand aus Metallelementen mit einer Gitterrost-Oberfläche, die in der Höhe auf das Niveau der Kraftmessplatte ausgerichtet waren. An der Unterseite der Ecken des Standes waren stufenlos höhenverstellbare Stützen angebracht, welche zusammen mit einer Wasserwaage das exakte Ausrichten des Standes ermöglichten.

Damit die Rinder am seitlichen Ausweichen, Hinunterspringen oder -stürzen gehindert wurden, war der Stand mit einem Metall-Gestänge ausgestattet, das an die Grösse der Tiere angepasst werden konnte (Abb. 1). So konnten vor bzw. hinter dem Rind Stangen angebracht werden, welche dem Tier das zu starke Vordrängen bzw. Zurückweichen verunmöglichten.



Abb. 1: Messstand mit Metallgestänge und stufenlos höhenverstellbare Stützen (mit rundem Fuss). Eingebettete Kraft- (blau) und darüber liegende Druckmessplatte (nicht sichtbar), Schutzgummimatte (beige) und Untersuchungsgummimatte KURA F (schwarz).

Damit nach dem Platzieren der Druckmessplatte auf die Kraftmessplatte eine ebene Standfläche entstand und die Tiere bequem stehen konnten, wurde auf der Standoberfläche bis zur Kraftmessplatte heran eine Gummimatte eingepasst und fixiert. Zum Schutz der Messplatten wurde bei allen Messungen eine 5mm dünne, weiche Gummimatte über die gesamte Standfläche gelegt.

### 5.3 Messsystem

Die 1070 mm breite, 420 mm lange, 180 mm hohe und 75 kg schwere footscan®-Kraftmessplatte mass die Bodenreaktionskräfte in der x- (bis zu 5000 N), y- (bis zu 5000 N) und z-Achse (bis zu 10000 N). Sie besass 7 Dehnungsmessstreifen: vier vertikale und drei horizontale (zwei in X-, eine in Y- und vier in Z-Achse). Diese änderten schon bei geringer Verformung ihren elektrischen Widerstand und



wurden als Dehnungssensoren eingesetzt. Durch die Änderung des Widerstandes konnten die einwirkenden Kräfte gemessen werden. Die Sensitivität der Messplatte betrug in allen Messrichtungen 1 N und sie mass mit einer Frequenz von 160 Hz in der X-, 170 Hz in der Y- und 185 Hz in der Z-Achse.

Das footscan®-Hi-end-System (RSscan International, Olen, Belgien) bestand aus einer 1068 mm breiten, 418 mm langen, 12 mm hohen und 7.7 kg schweren Druckmessplatte sowie aus einer 3D-Interface-Box. Mit der Druckmessplatte konnten über 8192 Sensoren dynamische Drücke mit einer Frequenz von bis zu 500 Hz gemessen werden. Die Sensoren waren auf einer Fläche von 975 mm x 325 mm verteilt, was einer Dichte von 2.6 Sensoren pro cm<sup>2</sup> entsprach. Ein Sensor mass 7.62 mm x 5.08 mm. Die Sensoren waren dafür ausgerichtet, Drücke von 0-200 N pro cm<sup>2</sup> zu messen.

Die 3D-Interface-Box verknüpfte die Daten der Druckmessplatte mit den Daten der Kraftmessplatte und leitete sie an den Computer weiter. Diese Verknüpfung kam auch bei der Kalibrierung des Messsystems, welche vor jeder Messung erfolgen musste, zum Tragen. So konnte definiert werden, dass auf der Kraftmessplatte in der X- und der Y-Achse sowohl positive wie auch negative Werte (in V/N) registriert wurden, wohingegen in der Z-Achse nur positive Werte möglich waren. Für die Kanäle der einzelnen Achsen wurde jeweils ein Bereich zwischen 1000 und 5000 N ausgewählt, abhängig von dem Messbereich, indem man zu arbeiten wünschte – in der vorliegenden Arbeit wurde ein Bereich von 1000 N gewählt. Mit dieser Voreinstellung erfolgte die Kalibrierung der Kraftmessplatte, wobei sich zum Zeitpunkt des Kalibrierens ausser der verwendeten Gummimatte nichts auf der Messplatte befinden durfte. Die Kalibrierung der Druckmessplatte erfolgte aufgrund der Signale der Z-Achse der Kraftmessplatte. Bei den Messungen mit den verschiedenen Gummimatten wurden die zu untersuchenden Gummimatten während des Kalibrierens auf der Messplatte belassen.

Zur Darstellung der erhobenen Daten wurde die footscan® 7 gait- und balance-Software (RSscan INTERNATIONAL, Olen, Belgien) verwendet.

#### 5.4 Gummimatten

Es wurden zwei Gummimatten (KRAIBURG Elastik GmbH, Tittmoning, Deutschland) welche sich in Profil und Weichheit unterschieden, verwendet, von denen eine durch die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft geprüft worden war (Reubold, 2004).

Die Gummimatte KURA FE wies an der Oberfläche ein Grip-Profil und an der Unterseite Riefen (Abb. 2) auf. Die Matte war 19 mm dick, 1080 mm breit und 2500 mm lang und wog 18.5 kg/m<sup>2</sup>.

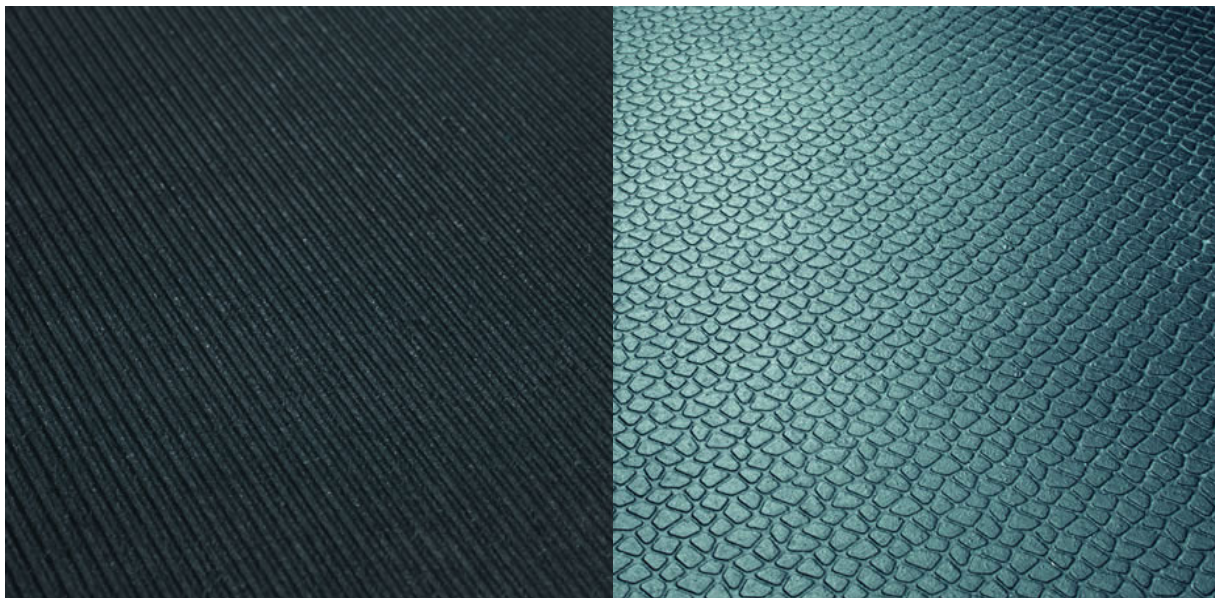


Abb. 2: Gummimatte KURA FE (hart) mit Riefen (links, Unterseite) und Grip-Profil (rechts, Oberfläche). (Bild: KRAIBURG Elastik GmbH)

Die Gummimatte KURA F wies an der Oberfläche ein Grip-Profil und an der Unterseite eine Noppenstruktur (Abb. 3) auf. Die Noppenhöhe betrug 5 mm. Die verwendete Matte war 24 mm dick, 1080 mm breit und 2500 mm lang und wog 22 kg/m<sup>2</sup>. Sie wies im Neuzustand eine Verformbarkeit von 3.5 mm auf (Reubold, 2004,) und war durch die Noppen an der Unterseite deutlich weicher als die Gummimatte KURA FE.

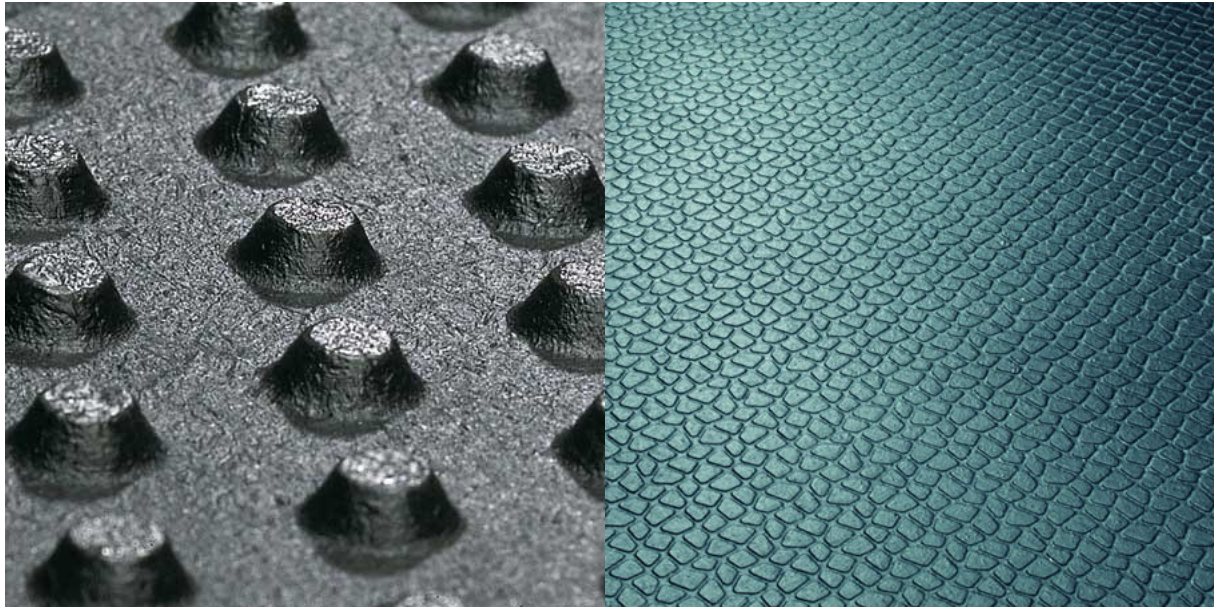


Abb. 3: Gummimatte KURA F (weich) mit Noppen (links, Unterseite) und Grip-Profil (rechts, Oberfläche). (Bild: KRAIBURG Elastik GmbH)

### 5.5 Versuchsvorbereitung

Am Ankunftstag am Tierspital Zürich wurde bei allen Rindern und Kühen ein klinischer Allgemeinuntersuchung durchgeführt. Dieser umfasste die Erhebung der Körpertemperatur, die Lungen- und Herzauskultation, die Auskultation der Motorik des Gastrointestinaltraktes inklusive Schwing- und Perkussionsauskultation, die Prüfung des Hautturgors, der Schleimhautfarbe und der kapillären Füllungszeit, die Venenstauprobe, die Kotbeurteilung, die Durchführung der Schmerzproben, sowie die Beurteilung der Belastung von allen vier Gliedmassen. Als Ausschlusskriterien für die nachfolgenden Messungen galten ein reduzierter Allgemeinzustand oder eine Lahmheit.

In der Folge wurde bei allen Tieren täglich eine kurze Untersuchung des Allgemeinzustandes durchgeführt und vor den Messungen wurde auf Lahmheitsanzeichen geachtet.

Vor den eigentlichen Messungen wurden alle vier Gliedmassen der Rinder und Kühe einer funktionellen Klauenpflege unterzogen. Hierfür wurden die Tiere bei Bedarf mit Xylazin (0.02 mg/kg KM i.m., Streuli Pharma AG, Uznach, Schweiz) sediert. Die Klauenpflege der Rinder erfolgte auf dem Kipptisch, die der Kühe im

Klauenstand oder auf dem Kipptisch. Vor der eigentlichen Klauenpflege wurden alle Klauen gereinigt und mit der Klauenuntersuchungszange auf Schmerzhaftigkeit untersucht.

Die Jungrinder und Kühe wurden an das Gehen am Halfter und das Stehen im Stand gewöhnt, indem sie vor Messbeginn mehrmals täglich über das Tierspitalgelände geführt wurden. Das Hochsteigen und Stehen auf dem Messstand wurde durch Anbieten von Futter belohnt. Eine Sedation während des Messens erfolgte in keinem Fall.

## **5.6 Versuchsdurchführung**

Das Aufstellen des Messstandes erfolgte mit einem Gabelstapler oder von Hand mit einem Gabelhubwagen auf einer ebenen, geräumigen Standfläche. Vor Messbeginn wurde die horizontale Ausrichtung des Messstandes mittels Wasserwaage ermittelt und die Fläche danach durch Verstellen der Füße des Messstandes in verschiedene Positionen gebracht. Im Anschluss daran und nach jeder Manipulation am Stand wurde das gesamte Messsystem neu kalibriert.

Die Messungen erfolgten im Zeitraum vom 19. Februar 2012 bis zum 30. April 2013. Die Rinder und Kühe wurden in kleinen Gruppen von einem bis zu vier Tieren ans Tierspital Zürich gebracht, wo sie für einen bis sieben Tage blieben. Nach den Vorbereitungen wurden die eigentlichen Messungen in jeweils ein bis zwei Stunden pro Tier durchgeführt.

Zur Durchführung der Druckmessungen wurde lediglich eine weitere Person zum Halten und richtigen Positionieren sowie zum Beruhigen der Tiere benötigt.

Auf der Druckmessplatte wurde mit 250 Hz während zwei Sekunden gemessen, was zu 500 Bildern pro Messung führte. Eine komplette Untersuchung beinhaltete bei Rindern vier und bei Kühen acht Positionen. Die Messpositionen bei den Rindern bestanden jeweils aus Messungen von Hinter- und Vordergliedmassen bei ebener Standfläche auf den beiden Gummimatten. Bei den Kühen wurden die Vorder- und Hintergliedmassen zusätzlich ohne Gummimatte bei ebener und um



3% nach kaudal geneigter Standfläche (um die Lägerneigung in den Anbindehaltungen und in Liegeboxen zu simulieren) auf der Messplatte positioniert.

In jeder Position wurden acht Messungen durchgeführt. Zwischen den Messungen wurden die Gliedmassen der Rinder passiv jeweils neu platziert.

Für die Versuche lag eine Tierversuchsbewilligung des kantonalen Veterinäramts Zürich vor (48/2011).

## 5.7 Ermittelte Parameter

### 5.7.1 Untersuchungsparameter in Bezug auf die Gesamtbelastung

Ermittelt wurde der Schwerpunkt des Tieres, indem die absolute und relative Belastung von Vorder- und Hintergliedmassen bestimmt wurde. Dies erfolgte, indem die auf die belasteten Sensoren wirkende Kraft für die Vorder- und Hintergliedmassen summiert wurde. Ebenfalls durch Summieren der Kräfte, welche auf die linke, bzw. rechte Gliedmasse wirkten, wurde die absolute und relative Belastung innerhalb der Schulter- bzw. Beckengliedmassen berechnet und somit der Schwerpunkt zwischen den Gliedmassen und innerhalb einer Gliedmasse eruiert.

### 5.7.2 Untersuchungsparameter innerhalb einer Gliedmasse

Anhand der belasteten Sensoren auf der Druckmessplatte und dem Wissen über die Sensorgrösse wurde die Fläche der lateralen und medialen Klauenabdrücke (Abb. 4, Abb. 5) berechnet.

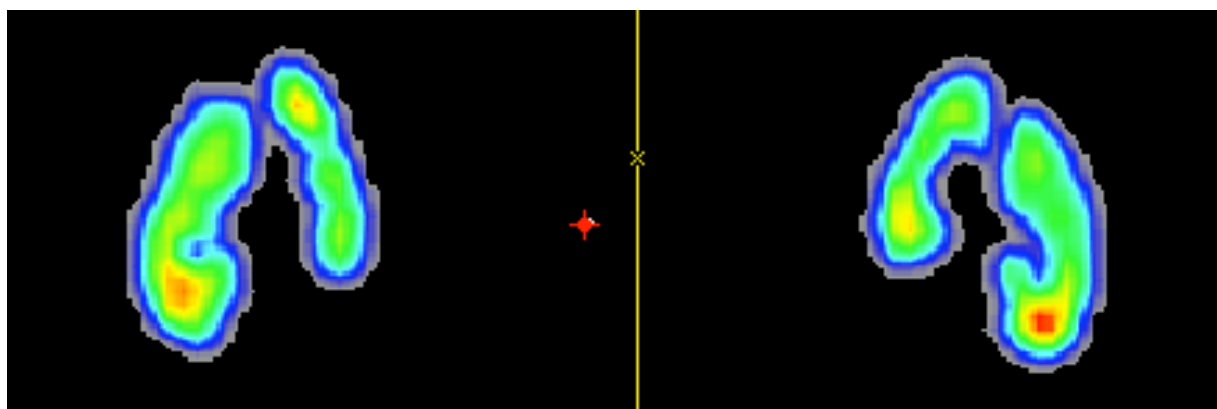


Abb. 4: Darstellung der Klauenabdrücke der Hintergliedmassen einer Kuh auf der Druckmessplatte ohne Gummimatte bei ebener Standfläche

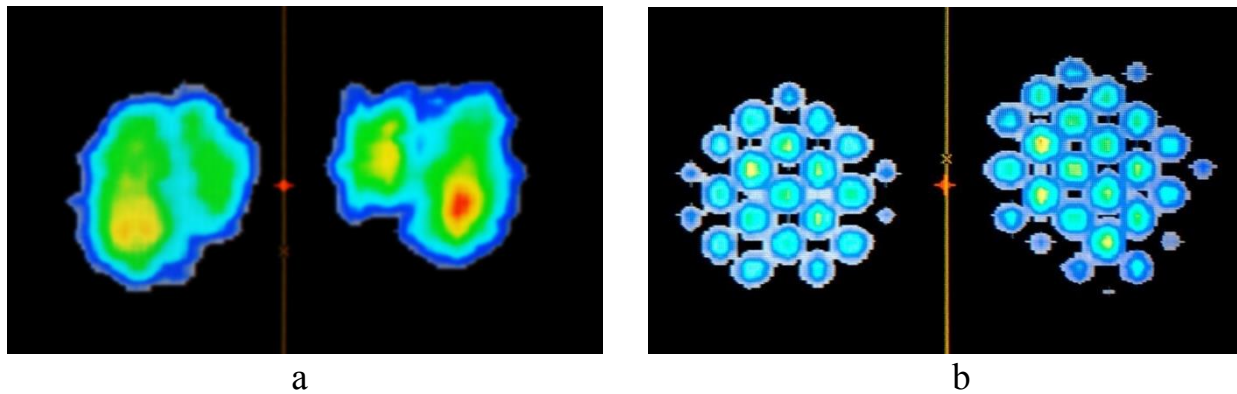


Abb. 5: Darstellung der Klauenabdrücke der Hintergliedmassen eines Rindes auf der Druckmessplatte unter der Gummimatte KURA FE (a) und unter der Gummimatte KURA F (b)

Da die dünne Gummimatte, die zum Schutz der Messplatte aufgelegt worden war, die Abdrücke der Klauen minim vergrößerte, wurden zur Korrektur alle am Rand des Klauenabdrucks belasteten Sensoren nur zur Hälfte zur Gesamtfläche hinzuge-rechnet. Schliesslich wurden die Klauenabdrücke jeder Messung in zwei Zonen eingeteilt. Die eine Zone befand sich im Bereich der Sohlenspitze, die andere Zo-ne im Ballenbereich. Als Hilfe für die Zuordnung der einzelnen belasteten Senso-ren auf die verschiedenen Klauen und Zonen wurde eine digitale, verstellbare Schablone verwendet (Abb. 6). Die Schablone selber hatte aber keinen Einfluss auf die erhobenen Werte.

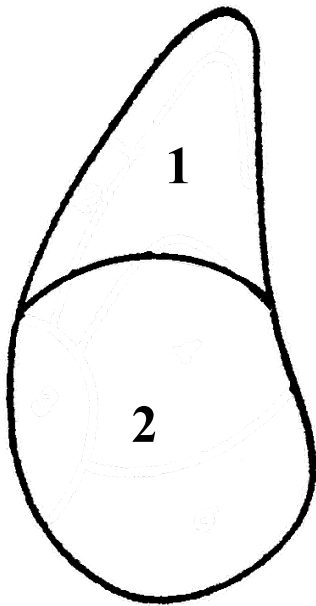


Abb. 6: Grundform der verwendeten Schablone zur Einteilung des Klauenabdrucks in zwei Zonen

Für jede Klaue wurden der Maximaldruck und der mittlere Druck ermittelt. Der maximale Druck wurde bestimmt, indem derjenige Sensor, auf welchen die grösste Kraft wirkte, ausfindig gemacht und der resultierende Druck als Kraft pro  $\text{cm}^2$  angegeben wurde. Für den mittleren Druck wurde der Durchschnitt von allen in einer Zone gemessenen Drücken berechnet. In der Folge wurden für jede einzelne Zone der maximale und der mittlere Druck bestimmt.

Zudem wurde ausgezählt, wo sich innerhalb einer Zone die höchsten maximalen Drücke befanden (kranial, kaudal, axial, abaxial, zentral).

### 5.7.3 Untersuchungen mit Gummimatten

Maximaler und mittlerer Druck sowie Fläche der Klauenabdrücke wurden jeweils für die Gummimatten KURA FE und KURA F sowie für die Messungen ohne Gummimatte berechnet. Die ermittelten Werte wurden anschliessend miteinander verglichen.

Die Erfassung und Aufbereitung der Zahlenwerte für die anschliessende statistische Auswertung erfolgte mit Excel (2010, Microsoft Office). Dabei wurden pro Tier und Messposition von den acht durchgeführten Messungen jeweils drei ausgewählt. Die Auswahl der drei Messungen erfolgte anhand der Gewichtsverteilung zwischen der linken und der rechten Gliedmasse. Es wurden nur Messungen verwendet, bei welchen die Gewichtsverteilung zwischen 50 % : 50 % und 40 % : 60 % bzw. 60 % : 40 % lag. Von den drei ausgewählten Messungen wurde jeweils eines von 500 Bildern mit Hilfe von Zufallszahlen ausgewählt, sodass schliesslich drei Bilder pro Tier und Messposition ausgewertet wurden. Dies führte zu keiner Verfälschung, da die Tiere während der Messzeit sehr ruhig standen und die Bilder sich nur minimal veränderten.

## **5.8 Statistik**

Die statistische Auswertung erfolgte mit der frei verfügbaren Statistiksoftware „R“ Version 3.0.2 (R Core Team 2013, Vienna, Austria). In „R“ wurde das Package „Linear and Nonlinear Mixed-Effects Models“ (nlme) nach Pinheiro et al. (2011) verwendet. Ziel der statistischen Auswertung war es, festzustellen, ob die verschiedenen Matten und Klauenzonen (einschliesslich einer potentiellen Interaktion zwischen diesen beiden Variablen) signifikant mit dem gemessenen Druck (mittlerer und maximaler) und der Kraft assoziiert waren. Dabei wurden das Gewicht des Tieres und die Distanz zwischen den Schwerpunkten der linken und rechten Gliedmasse berücksichtigt. Da mehrere Messungen (Replikatmessungen mit verschiedenen Matten und Messpositionen) pro Tier ausgewertet wurden, wurde davon ausgegangen, dass die Messdaten nicht unabhängig, sondern geclustert waren. Um diese hierarchische Struktur der Daten zu berücksichtigen, wurden lineare gemischte-Effekte-Modelle (linear mixed effects models), die Zufallseffekte berücksichtigen, verwendet. In einem ersten Schritt wurde die geeignete Struktur für die Zufallseffekte (auf Tier- bzw. auf Tier- und Replikatebene) im Modell mittels Restricted Maximum Likelihood (REML) bestimmt. In einem zweiten Schritt



wurden verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Kombinationen der unabhängigen Variablen getestet. Hierfür wurde die Maximum-Likelihood-Methode angewendet. Die Modellauswahl erfolgte anhand des AIC (Akaike's Information Criterion); dabei zeigten niedrigere AIC-Werte an, dass das entsprechende Modell die Daten besser beschrieb. Das Ziel war, dass die statistische Auswertung in einem Modell für die Gesamtpopulation der Rinder bzw. der Kühe resultierte, das unter Berücksichtigung von Gewicht, Distanz zwischen den Schwerpunkten der einzelnen Gliedmassen, Klauenzone und Messposition zu einem geschätzten Mittelwert der Gesamtpopulation führte. Die Ergebnisse wurden in Form von Effektgrößen, den dazugehörigen Standardfehlern und P-Werten angegeben. Bei signifikantem Einfluss von Gewicht bzw. Distanz zwischen den Schwerpunkten wurden die aufgeführten Tabellen unter Berücksichtigung der jeweiligen Durchschnittswerte für Rinder (350 kg, 24.3 cm) und Kühe (29.7 cm) erstellt. Als statistisch signifikant wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $P < 0.05$  festgelegt

Bei der Darstellung der Boxplot-Diagramme wurde sowohl für die Kühe, als auch für die Rinder dieselbe Skalierung gewählt, sodass ein Vergleich zwischen den beiden Altersgruppen einfacher möglich war.

## 6. Resultate

### 6.1 Rinder

#### 6.1.1 Verteilung der Gewichtskraft zwischen Vorder- und Hintergliedmassen

Das aus der gemessenen Kraft berechnete Körpergewicht zeigte einen Mittelwert von 349.7 kg und war nahezu identisch mit dem Mittelwert des Körpergewichts, das auf der Brückenwaage ermittelt wurde (348.4 kg). Es bestand ein signifikanter Zusammenhang ( $P < 0.01$ ) zwischen der gemessenen Gewichtskraft und der jeweiligen Klauenzone (Spitzen- bzw. Ballenbereich).

Die Gesamtkraft, welche bei auf der **Gummimatte KURA FE** stehenden Rindern auftrat, betrug 1888.2 N (Standardfehler (SE) 45.1) an den Vordergliedmassen und 1532.7 N (SE 46.2) an den Hintergliedmassen. Daraus ergab sich eine relative Gewichtsverteilung von 55.2 % zu 44.8 %. Unter der **Gummimatte KURA F** fanden sich diesbezüglich Werte von 1885.5 N (SE 40.3) für die Schulter- bzw. 1553.5 N (SE 41.3) für die Beckengliedmassen. Die relative Gewichtsverteilung betrug hier 54.8 % zu 45.2 %. Unter beiden Gummimatten war die Kraft, welche auf die Vordergliedmassen wirkte, signifikant grösser.

Die Kraft wurde nicht signifikant unterschiedlich auf die linke und die rechte Schulter- sowie die linke und rechte Beckengliedmasse verteilt. Daher wurden im Folgenden bei allen untersuchten Variablen jeweils die rechte und die linke Gliedmasse nicht separat betrachtet, sondern jeweils nur Vorder- und Hintergliedmassen, bzw. Aussen- und Innenklaue.

#### 6.1.2 Verteilung der Gewichtskraft innerhalb einer Gliedmasse

An den Vordergliedmassen wurden jeweils die Innenklauen signifikant stärker belastet als die Aussenklauen (Abb. 7). So wurden unter der **Gummimatte KURA FE** an den Aussenklauen 402.9 N (SE 21.9) und an den Innenklauen 541.3 N (SE 23.1) gemessen. Daraus ergab sich eine relative Gewichtsverteilung von 42.7 % lateral zu 57.3 % medial. Unter der **Gummimatte KURA F** war die Gewichtsver-

teilung innerhalb einer Schultergliedmasse ähnlich wie unter der Gummimatte KURA FE. Die lateralen Klauen wurden mit einer Kraft von 426.7 N (SE 19.7) und die medialen Klauen mit 516.1 N (SE 20.7) belastet. Die relative Verteilung der Gewichtskraft zwischen den lateralen und medialen Klauen betrug 45.3 % zu 54.7 %. Auch auf dieser Gummimatte waren diese Unterschiede zwischen lateraler und medialer Klaue signifikant.

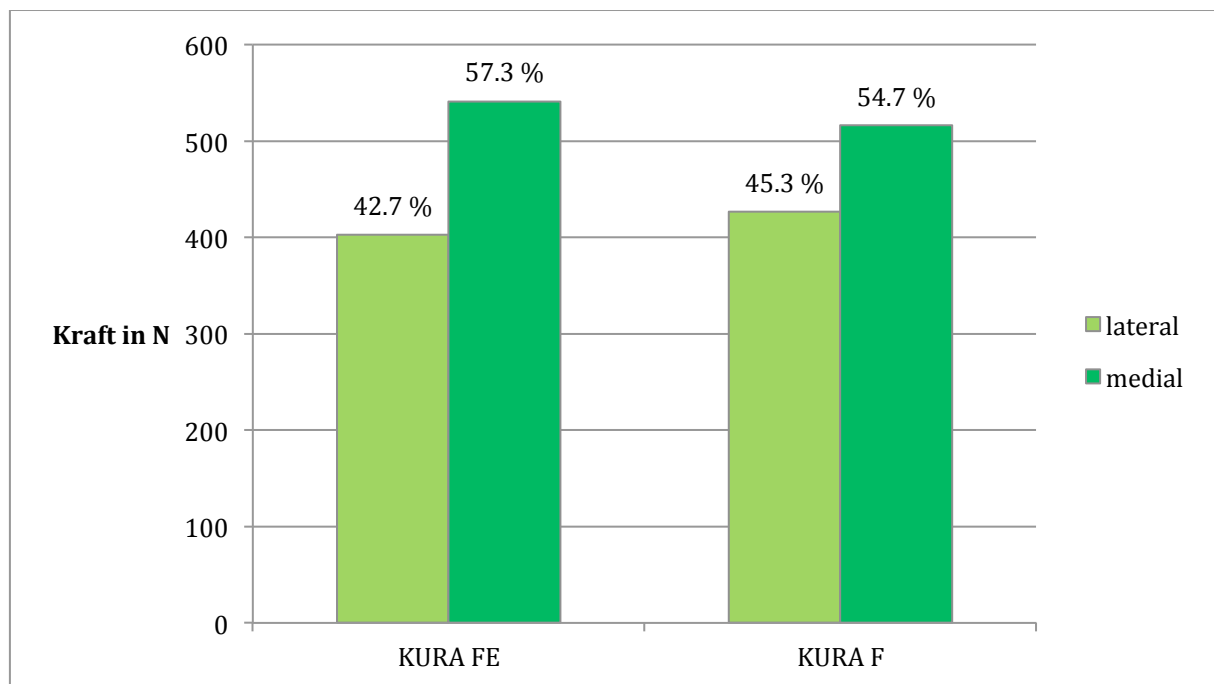


Abb. 7: Verteilung der Gewichtskräfte auf die Innen- und Aussenklauen der Vordergliedmassen bei 30 Braunvieh-Rindern auf den zwei verschiedenen Gummimatten

An den Hintergliedmassen wurden auf beiden Gummimatten die Aussenklauen signifikant stärker belastet als die Innenklauen (Abb. 8). Unter der **Gummimatte KURA FE** wirkte auf die lateralen Klauen eine Kraft von 477.0 N (SE 23.1) und auf die medialen Klauen 289.4 (SE 23.1). Dies ergab eine relative Gewichtsverteilung von 62.2 % auf die Aussen- und 37.8 % auf die Innenklauen. Auch unter der **Gummimatte KURA F** war die Gewichtsverteilung zwischen Aussen- und Innenklauen ähnlich wie unter der Gummimatte KURA FE. An den lateralen Klauen

betrug die gemessene Kraft 466.1 (SE 20.7) und an den medialen Klauen 310.7 N (SE 20.7). Dies resultierte in einer relativen Gewichtskraftverteilung von 60 % auf die Aussen- und 40 % auf die Innenklauen.

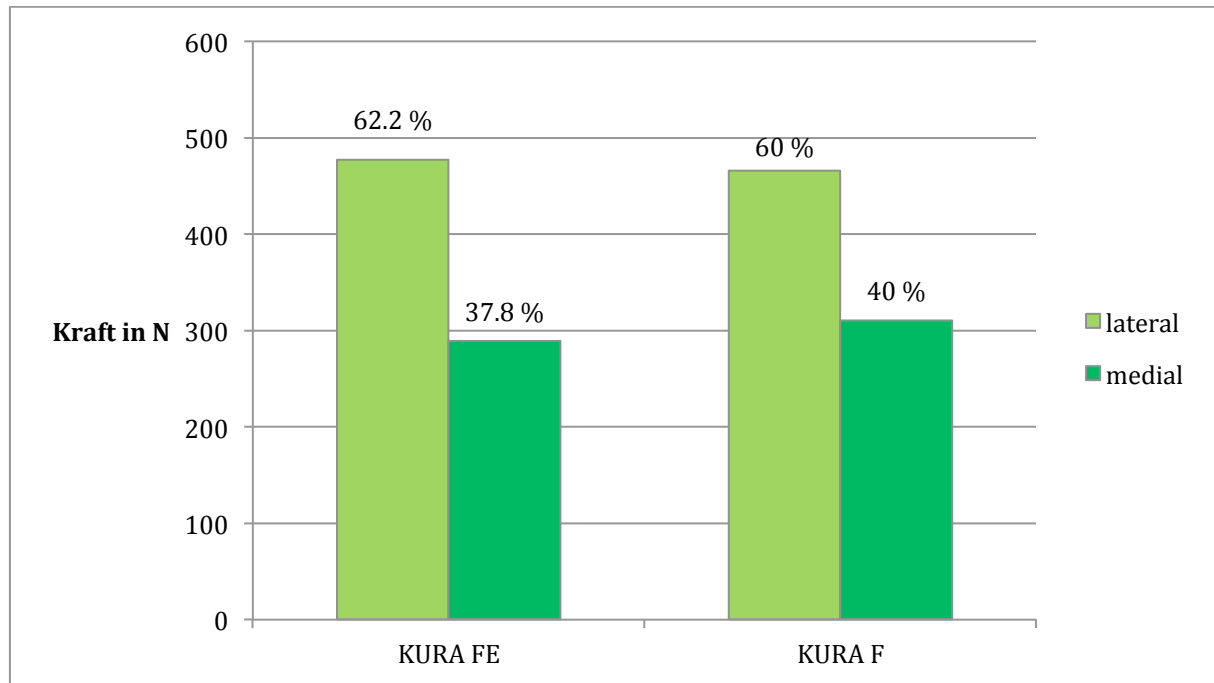


Abb. 8: Verteilung der Gewichtskräfte auf die Innen- und Aussenklauen der Hintergliedmassen bei 30 Braunvieh-Rindern auf zwei verschiedenen Gummimatten

### 6.1.3 Verteilung der Gewichtskraft innerhalb einer Klaue

Sowohl unter der Gummimatte KURA FE als auch unter der Gummimatte KURA F lastete auf den Ballenzonen aller Klauen der Vordergliedmassen sowie der lateralen Klauen der Hintergliedmassen signifikant mehr Gewicht als auf den Sohlen- spitzenzonen (Abb. 9, Abb. 10, Tab. 1). Im Vergleich der beiden Gummimatten zeigten sich diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede.

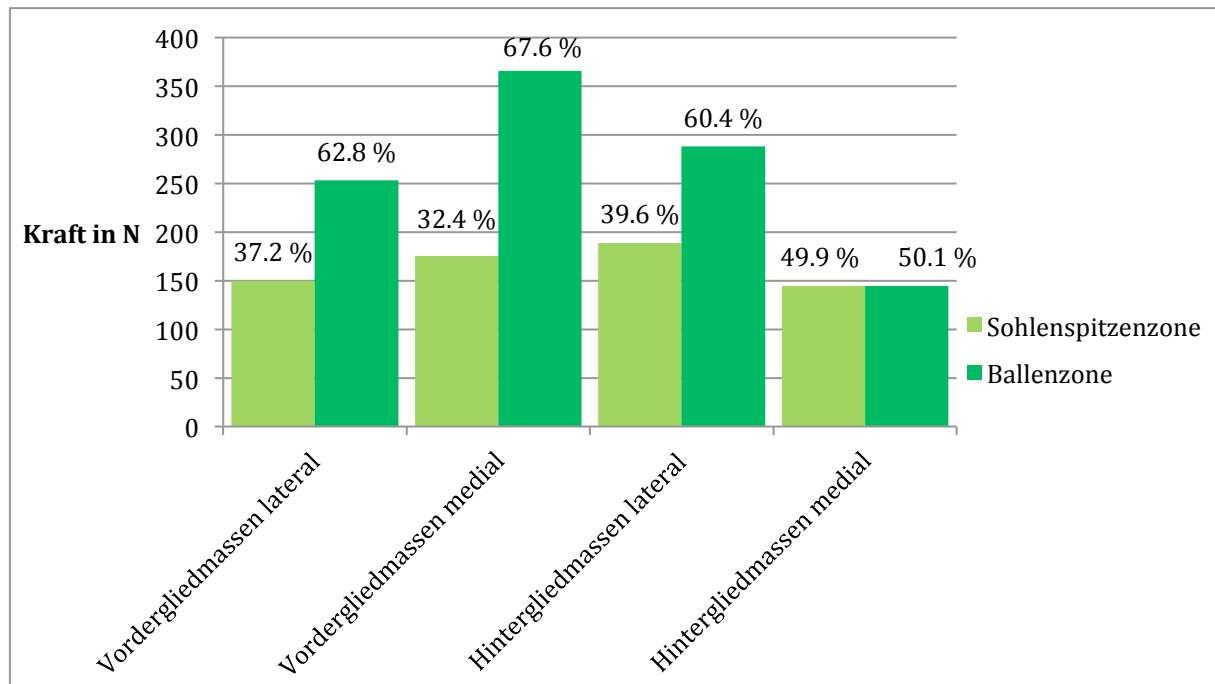


Abb. 9: Verteilung der Gewichtskraft auf die beiden Zonen der Klauen der Schulter- und Beckengliedmassen von 30 Braunvieh-Rindern unter der Gummimatte KURA FE

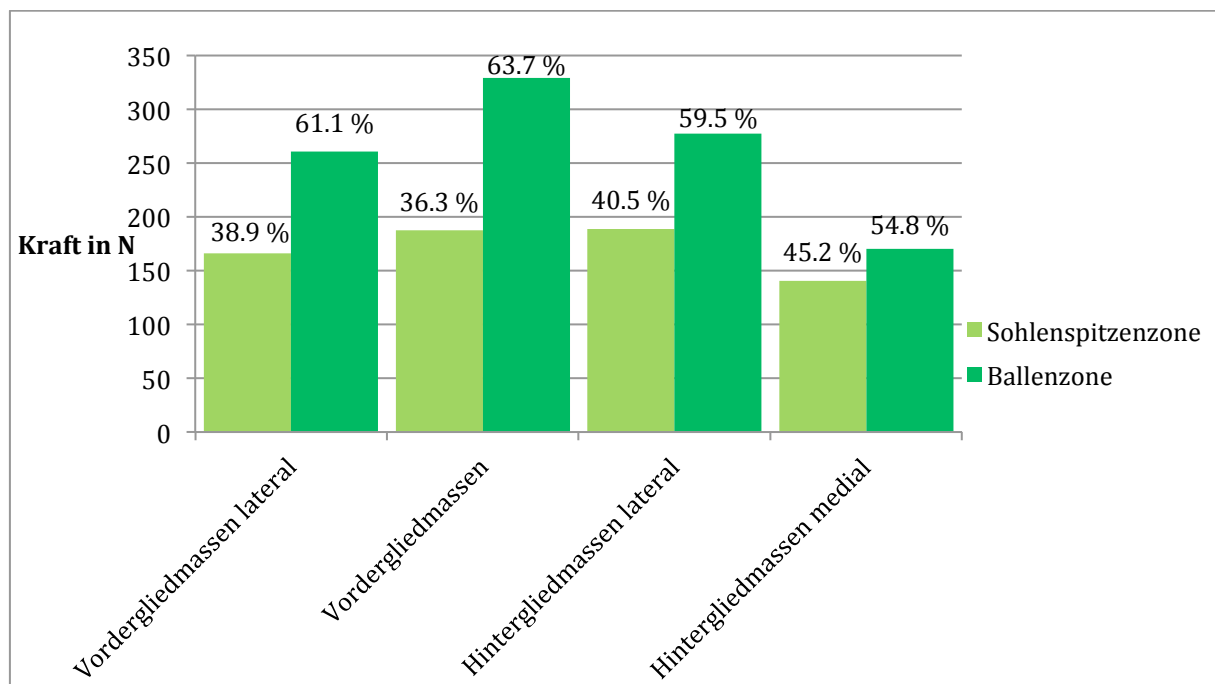


Abb. 10: Verteilung der Gewichtskraft auf Sohlenspitze und Ballen der Klauen der Schulter- und Beckengliedmassen von 30 Braunvieh-Rindern unter der Gummimatte KURA F

Tab. 1: Kraft unter den Klauen der Vorder- und Hintergliedmassen aufgeteilt in Zonen bei 30 Braunvieh-Rindern unter den verschiedenen Gummimatten (KURA FE und KURA F) in N (n = 30).

Zone	KURA FE		KURA F	
	Mittelwert	Standard- fehler	Mittelwert	Standard- fehler
Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen der Vordergliedmassen	149.7 <sup>1</sup>	14.7	166.1 <sup>4</sup>	13.2
Ballenzone der lateralen Klauen der Vordergliedmassen	253.1 <sup>1</sup>	14.7	260.6 <sup>4</sup>	13.2
Sohlenspitzenzone der medialen Klauen Vordergliedmassen	175.5 <sup>2</sup>	14.7	187.2 <sup>5</sup>	13.2
Ballenzone der medialen Klauen der Vordergliedmassen	365.8 <sup>2</sup>	14.7	329 <sup>5</sup>	13.2
Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen	189 <sup>3</sup>	14.7	188.8 <sup>6</sup>	13.2
Ballenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen	288 <sup>3</sup>	14.7	277.2 <sup>6</sup>	13.2
Sohlenspitzenzone der medialen Klauen der Hintergliedmassen	144.5	14.7	140.5	13.2
Ballenzone der medialen Klauen der Hintergliedmassen	144.9	14.7	170.2	13.2

<sup>1-6</sup>: Gleiche Indizes bedeuten signifikanten Unterschied zwischen den Zonen.

#### 6.1.4 Fläche der Klauenabdrücke

Die Fläche der Klauenabdrücke stand in einem signifikanten Zusammenhang ( $P < 0.01$ ) mit der gewählten Gummimatte, der Klauenzone und dem Gewicht der Rinder. Wie stark die Fläche mit der Klauenzone zusammenhing, wurde signifikant ( $P < 0.01$ ) von der jeweiligen Gummimatte beeinflusst.

Da die Fläche vom Gewicht der Tiere abhing wurde für die im Folgenden aufgeführten Werte von einem durchschnittlichen Körpergewicht von 350 kg ausgegangen. Dieses Gewicht entsprach dem Durchschnittsgewicht der Rinder.

Unter der Gummimatte KURA FE (Abb. 11) waren die Flächen der Klauenabdrücke signifikant kleiner als unter der Gummimatte KURA F (Abb. 12). Auf beiden Gummimatten konnten an den Vordergliedmassen die grössten Flächen an den Innenklauen (KURA FE  $33.0 \text{ cm}^2$  (SE 8.0), KURA F  $60.1 \text{ cm}^2$  (SE 10.4)) und an den Hintergliedmassen an den Aussenklauen (KURA FE  $31.2 \text{ cm}^2$  (SE 8.0), KURA F  $59.7 \text{ cm}^2$  (SE 10.4)) gemessen werden. Innerhalb einer Klaue wiesen die Ballenregionen der Klauenabdrücke an allen Klauen eine grössere Fläche auf, allerdings war dies statistisch nicht signifikant (Tab. 2).

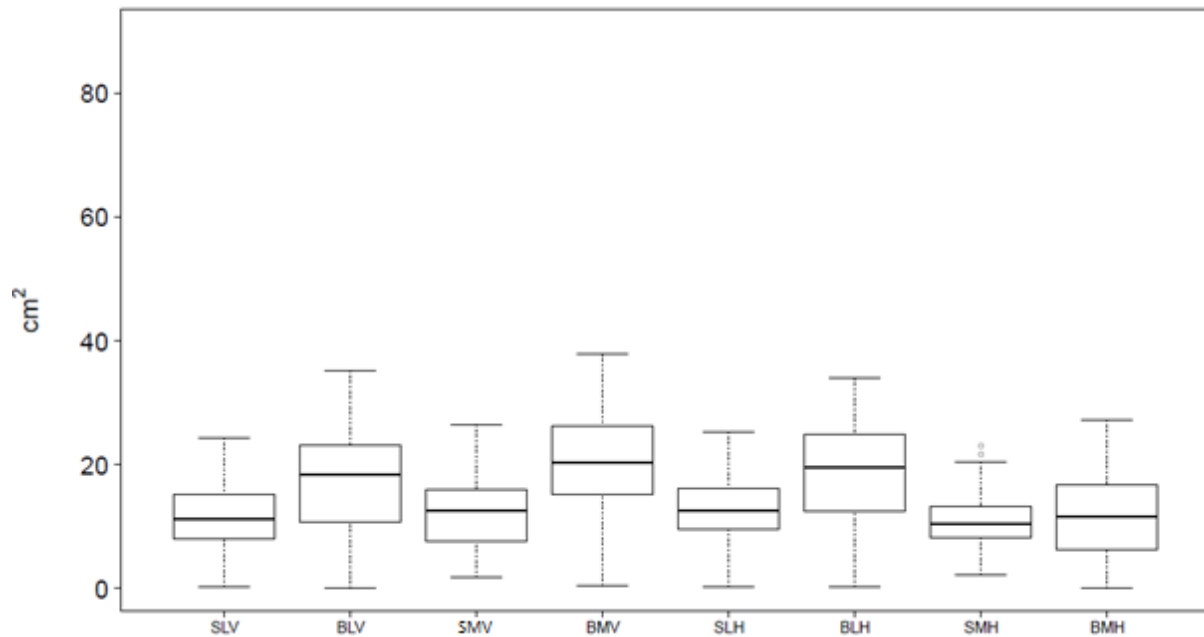


Abb. 11: Flächen der Klauenabdrücke je Zone unter der Gummimatte KURA FE bei 30 Braunvieh-Rindern; SLV = Sohlenspitzenzone der lateralen Klaue der Vordergliedmassen; BLV = Ballenzone der lateralen Klaue der Vordergliedmassen; SMV = Sohlenspitzenzone der medialen Klaue der Vordergliedmassen; BMV = Ballenzone der medialen Klaue der Vordergliedmassen; SLH = Sohlenspitzenzone der lateralen Klaue der Hintergliedmassen; BLH = Ballenzone der lateralen Klaue der Hintergliedmassen; SMH = Sohlenspitzenzone der medialen Klaue der Hintergliedmassen; BMH = Ballenzone der medialen Klaue der Hintergliedmassen



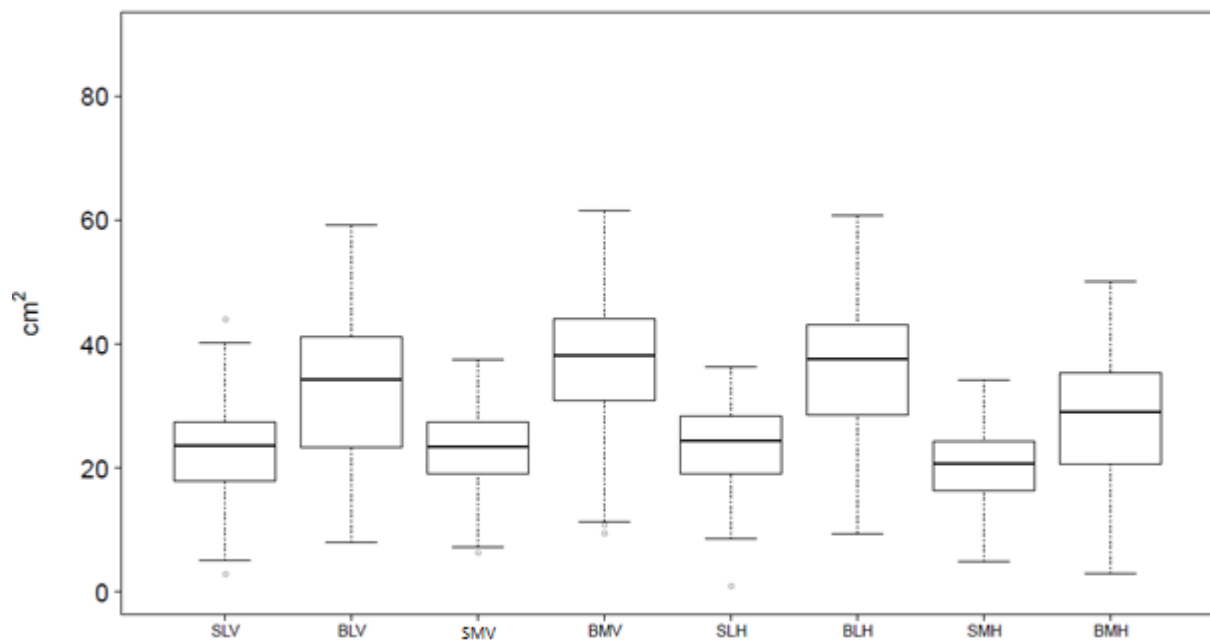


Abb. 12: Flächen der Klauenabdrücke je Zone unter der Gummimatte KURA F bei 30 Braunvieh-Rindern; Legende siehe Abb. 11

Tab. 2: Fläche der Klauenabdrücke aufgeteilt in Zonen unter den verschiedenen Gummimatten (KURA FE bzw. KURA F) bei 30 Braunvieh-Rindern in cm<sup>2</sup> korrigiert um ein durchschnittliches Körpergewicht von 350 kg.

Zone	KURA FE		KURA F	
	Mittelwert	Standard- fehler	Mittelwert	Standard- fehler
Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen der Vordergliedmassen	11.3	5.7	23.0	7.4
Ballenzone der lateralen Klauen der Vordergliedmassen	17.1 <sup>1</sup>	5.7	32.8 <sup>2</sup>	7.4
Sohlenspitzenzone der medialen Klauen Vordergliedmassen	12.2 <sup>1</sup>	5.7	23.2 <sup>2</sup>	7.4
Ballenzone der medialen Klauen der Vordergliedmassen	20.7 <sup>1</sup>	5.7	36.9 <sup>2</sup>	7.4
Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen	12.9 <sup>1</sup>	5.7	23.7 <sup>2</sup>	7.4
Ballenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen	18.4 <sup>1</sup>	5.7	36.0 <sup>2</sup>	7.4
Sohlenspitzenzone der medialen Klauen der Hintergliedmassen	10.9	5.7	20.1 <sup>2</sup>	7.4
Ballenzone der medialen Klauen der Hintergliedmassen	11.7 <sup>1</sup>	5.7	28.0 <sup>2</sup>	7.4

Korrekturfaktor für den Einfluss des Körpergewichtes: KURA FE: 4.7 mm<sup>2</sup> (SE 1.60) und KURA F: 6.1 mm<sup>2</sup> (SE 2.10) pro kg Körpergewicht; <sup>1,2</sup>: verschiedene Indizes (<sup>1,2</sup>) bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zonen (P < 0.05 im Vergleich der Vertrauensintervalle)

### 6.1.5 Mittlerer Druck

Der Druck, der durchschnittlich auf eine Klauenzone wirkte, war signifikant ( $P < 0.01$ ) abhängig von der Klauenzone und der jeweiligen Gummimatte und wurde durch die Wechselwirkung zwischen Gummimatte und Klauenzone zusätzlich beeinflusst ( $P < 0.05$ ). Hinzu kam der signifikante Einfluss ( $P < 0.01$ ) der Distanz zwischen den Schwerpunkten der linken und der rechten Gliedmasse. Die durchschnittliche Distanz zwischen den Schwerpunkten der linken und rechten Gliedmasse lag bei 24.3 cm (Max. 75.9 cm, Min 14.3 cm). Die im Folgenden angegebenen Werte wurden um diese durchschnittliche Distanz korrigiert.

Unter der **Gummimatte KURA FE** betrug der durchschnittliche mittlere Druck über alle Klauen der Schultergliedmassen  $16.3 \text{ N/cm}^2$  (SE 2.0). Der höchste mittlere Druck wurde jeweils in der Ballenregion der Innenklauen gemessen (Tab. 3). Er betrug  $18.7 \text{ N/cm}^2$  (SE 1.4). Der tiefste mittlere Druck war in der Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen lokalisiert und betrug  $14.7 \text{ N/cm}^2$  (SE 1.4).

An den Hintergliedmassen betrug der mittlere Druck über alle Klauen gerechnet  $15.7 \text{ N/cm}^2$  (SE 2.0). Der höchste mittlere Druck an der Beckengliedmasse war in der Ballenregion der Aussenklauen lokalisiert (Tab. 3) und betrug  $17.1 \text{ N/cm}^2$  (SE 1.4). Der tiefste mittlere Druck war in der Ballenregion der Innenklauen lokalisiert und betrug  $14.5 \text{ N/cm}^2$  (SE 1.4).

Unter der **Gummimatte KURA F** war der mittlere Druck über aller Zonen der Klauen der Vordergliedmassen mit  $8.2 \text{ N/cm}^2$  (SE 0.7) signifikant kleiner als unter der Gummimatte KURA FE. Der höchste mittlere Druck an den Vordergliedmassen konnte in der Ballenregion der medialen Klauen lokalisiert werden (Tab. 3). Gemessen wurde ein Wert von  $9.1 \text{ N/cm}^2$  (SE 0.5). Der tiefste mittlere Druck wurde mit  $7.3 \text{ N/cm}^2$  (SE 0.5) im Spitzenbereich der lateralen Klauen gefunden.

Unter den Klauen der Beckengliedmassen trat ein mittlerer Druck von durchschnittlich  $7.5 \text{ N/cm}^2$  (SE 0.7) auf. Der höchste mittlere Druck wurde mit  $8.4 \text{ N/cm}^2$  (SE 0.5) an der Sohlenspitze der Aussenklauen gemessen (Tab. 3). Der

niedrigste Wert war in der Ballenregion der medialen Klauen zu finden. In dieser Zone betrug der mittlere Druck  $6.3 \text{ N/cm}^2$  (SE 0.5).

Tab. 3: Mittlerer Druck unter den Klauen der Vorder- und Hintergliedmassen aufgeteilt in Zonen bei 30 Braunvieh-Rindern unter den verschiedenen Gummimatten (KURA FE und KURA F) in  $\text{N/cm}^2$  ( $n = 30$ ), korrigiert um die durchschnittliche Distanz von 24.3 cm

Zone	KURA FE		KURA F	
	Mittelwert	Standard- fehler	Mittelwert	Standard- fehler
Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen der Vordergliedmassen	14.7 <sup>1</sup>	1.4	7.3 <sup>2</sup>	0.5
Ballenzone der lateralen Klauen der Vordergliedmassen	16.2 <sup>1</sup>	1.4	8.0 <sup>2</sup>	0.5
Sohlenspitzenzone der medialen Klauen Vordergliedmassen	15.7 <sup>1</sup>	1.4	8.2 <sup>2</sup>	0.5
Ballenzone der medialen Klauen der Vordergliedmassen	18.7 <sup>1</sup>	1.4	9.1 <sup>2</sup>	0.5
Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen	16.3 <sup>1</sup>	1.4	8.4 <sup>2</sup>	0.5
Ballenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen	17.1 <sup>1</sup>	1.4	7.8 <sup>2</sup>	0.5
Sohlenspitzenzone der medialen Klauen der Hintergliedmassen	14.8 <sup>1</sup>	1.4	7.4 <sup>2</sup>	0.5
Ballenzone der medialen Klauen der Hintergliedmassen	14.5 <sup>1</sup>	1.4	6.3 <sup>2</sup>	0.5

Korrekturfaktor Distanz: KURA FE:  $-0.26 \text{ N/cm}^2$  (SE 0.04) und KURA F:  $-0.03 \text{ N/cm}^2$  (SE 0.02) pro cm Distanz zwischen den Schwerpunkten; <sup>1,2</sup>: verschiedene Indizes (<sup>1,2</sup>) bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zonen ( $P < 0.05$  im Vergleich der Vertrauensintervalle)

#### 6.1.6 Maximaler Druck

Der maximale Druck war signifikant von der jeweiligen Zone ( $P < 0.01$ ), der Gummimatte ( $P < 0.01$ ) und dem Körpergewicht der Rinder ( $P < 0.05$ ) abhängig. Die folgenden Werte wurden mit einem durchschnittlichen Körpergewicht von 350 kg berechnet. Wie stark der maximale Druck mit der Klauenzone zusammenhing, wurde signifikant von der jeweiligen Gummimatte beeinflusst ( $P < 0.01$ ). So wurden während den Messungen auf der Gummimatte KURA F signifikant höhere maximale Drücke gemessen als auf der Gummimatte KURA FE, da sich die auf die Klauen wirkende Kraft durch die Noppen auf eine kleiner Fläche konzentrierte.

Unter der **Gummimatte KURA FE** waren die maximalen Drücke an den Vordergliedmassen am häufigsten im Zentrum der Ballenzone der Innenklauen lokalisiert (46.7 %, Abb. 13). In dieser Zone waren die maximalen Drücke auch am höchsten (34.8 N/cm<sup>2</sup> (SE 5.2)). Die kleinsten maximalen Drücke hingegen waren in der Sohlenspitzenzone der Aussenklauen lokalisiert (20.3 N/cm<sup>2</sup> (SE 5.2)). An den Hintergliedmassen wurden die höchsten maximalen Drücke (29.6 N/cm<sup>2</sup> (SE 5.2)) in der Ballenzone der lateralen Klauen registriert, wobei 32.8 % der maximalen Drücke im Zentrum der genannten Zone lagen. Die niedrigsten Drücke wurden in der Ballenzone der medialen Klauen (20.3 N/cm<sup>2</sup> (SE 5.2)) gemessen (Abb. 14, Tab. 4).

Unter der **Gummimatte KURA F** lagen die höchsten maximalen Drücke an den Schultergliedmassen zu 30.6 % im kranialen Bereich der Ballenzone der medialen Klauen (98.1 N/cm<sup>2</sup> (SE 16.6)). Die niedrigsten maximalen Drücke waren, wie bei der Gummimatte KURA FE, in der Sohlenspitzenregion der lateralen Klaue lokalisiert (73.3 N/cm<sup>2</sup> (SE 16.6)). An den Beckengliedmassen konnten die höchsten maximalen Drücke (86.1 (SE 16.6)) der Ballenzone der lateralen Klauen zugeordnet werden. Im Gegensatz dazu waren die maximalen Drücke aber häufiger in der

Ballenzone der medialen Klaue lokalisiert (52.2 %). Wie bereits unter der Gummimatte KURA FE konnten unter der Gummimatte KURA F die niedrigsten maximalen Drücke der Hintergliedmassen in den Ballenregionen der medialen Klauen lokalisiert werden ( $63.9 \text{ N/cm}^2$  (SE 16.6)) (Abb. 13, Abb. 15, Tab. 4).

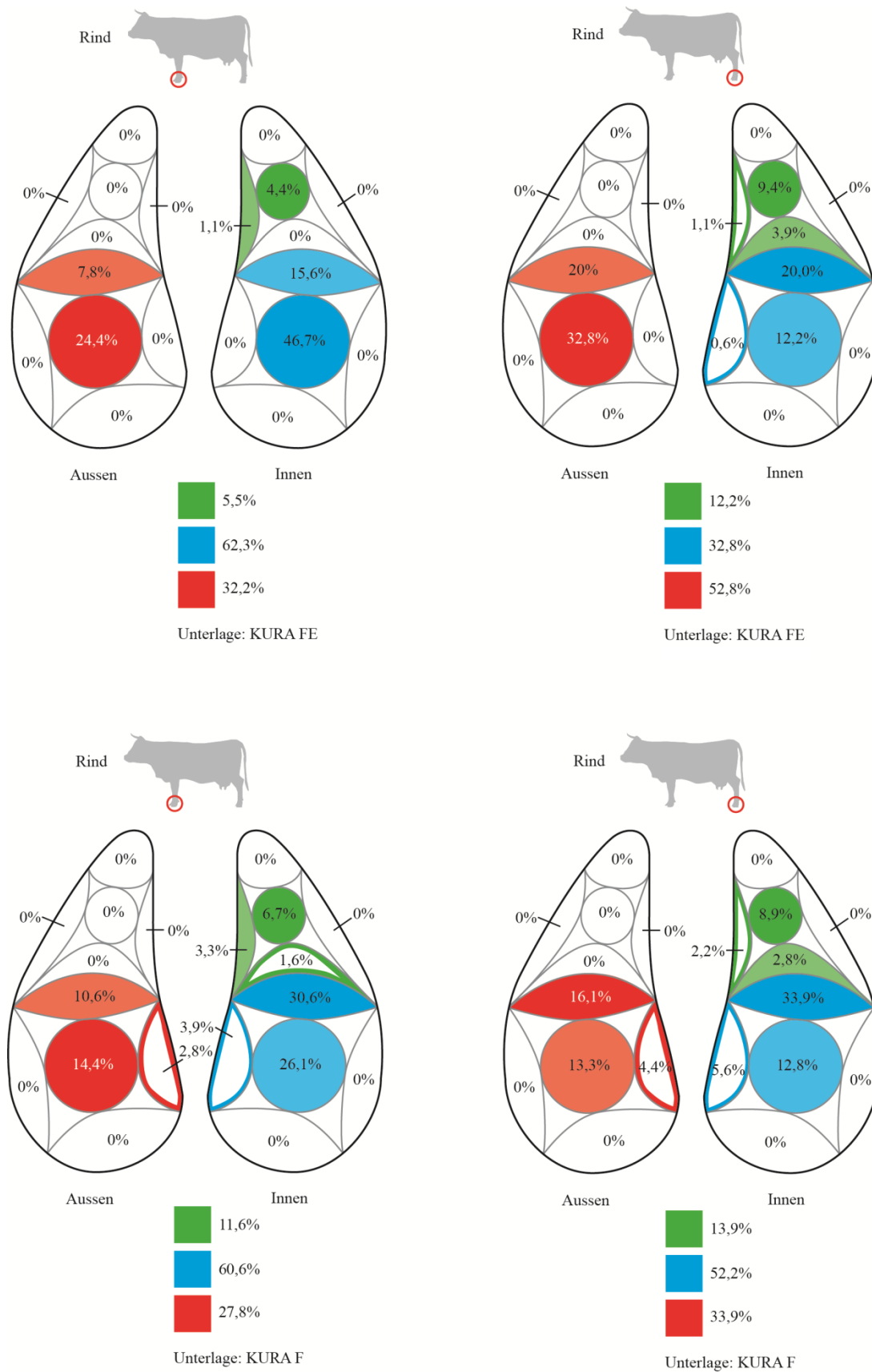


Abb. 13: Verteilung der Maximaldrücke unter den Klauen von 30 Braunvieh-Rindern auf den Gummimatten KURA FE (oben) und KURA F (unten)

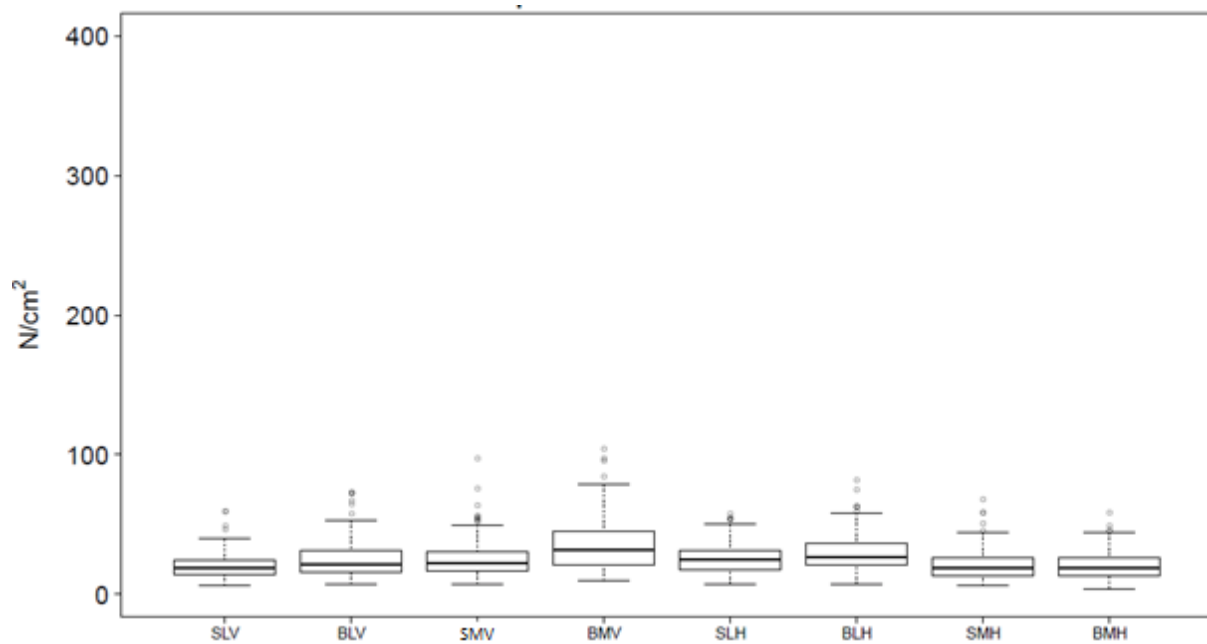


Abb. 14: Maximaler Druck je Zone unter der Gummimatte KURA FE bei 30 Braunvieh-Rindern; Legende siehe Abb. 11

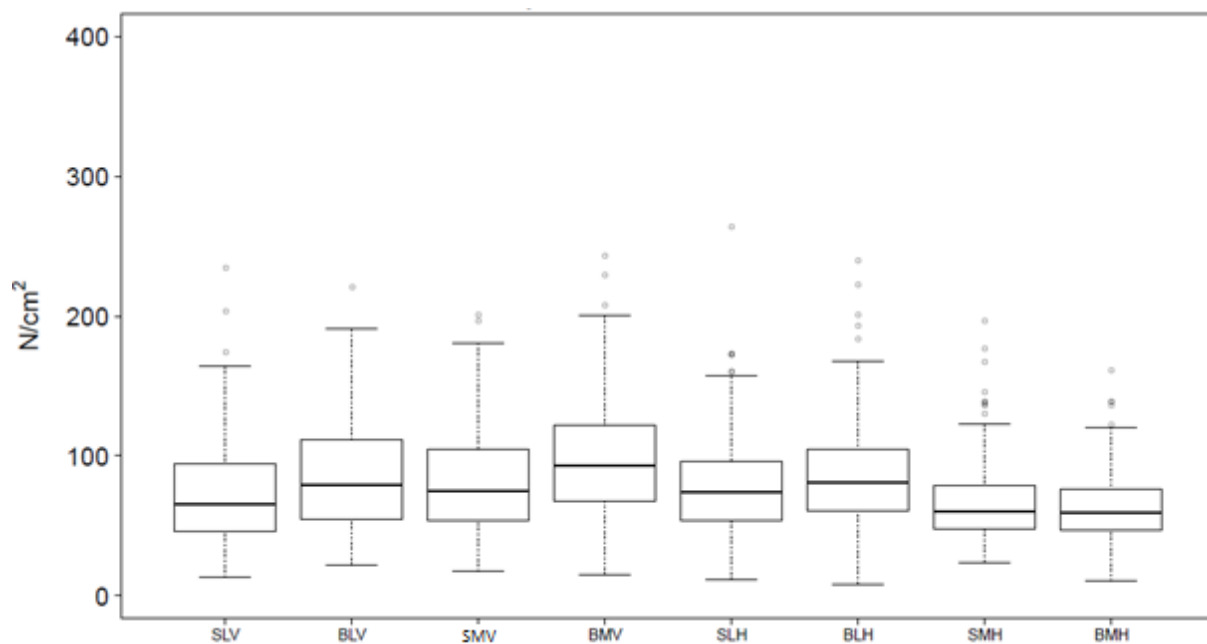


Abb. 15: Maximaler Druck je Zone unter der Gummimatte KURA F bei 30 Braunvieh-Rindern; Legende siehe Abb. 11



Tab. 4: Maximaler Druck unter den Klauen der Vorder- und Hintergliedmassen aufgeteilt in Zonen bei 30 Braunvieh-Rindern unter den verschiedenen Gummimatten (KURA FE und KURA F) in N/cm<sup>2</sup>, korrigiert auf ein durchschnittliches Körpergewicht von 350 kg.

Zone	KURA FE		KURA F	
	Mittelwert	Standard- fehler	Mittelwert	Standard- fehler
Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen der Vordergliedmassen	20.3 <sup>1</sup>	5.2	73.3 <sup>2</sup>	16.6
Ballenzone der lateralen Klauen der Vordergliedmassen	25.2 <sup>1</sup>	5.2	86.5 <sup>2</sup>	16.6
Sohlenspitzenzone der medialen Klauen Vordergliedmassen	24.9 <sup>1</sup>	5.2	80.7 <sup>2</sup>	16.6
Ballenzone der medialen Klauen der Vordergliedmassen	34.8 <sup>1</sup>	5.2	98.1 <sup>2</sup>	16.6
Sohlenspitzenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen	25.3 <sup>1</sup>	5.2	80.4 <sup>2</sup>	16.6
Ballenzone der lateralen Klauen der Hintergliedmassen	29.6 <sup>1</sup>	5.2	86.1 <sup>2</sup>	16.6
Sohlenspitzenzone der medialen Klauen der Hintergliedmassen	21.2 <sup>1</sup>	5.2	67.7 <sup>2</sup>	16.6
Ballenzone der medialen Klauen der Hintergliedmassen	20.3 <sup>1</sup>	5.2	63.9 <sup>2</sup>	16.6

Korrekturfaktor für den Einfluss des Körpergewichtes: KURA FE: 0.2 N/cm<sup>2</sup> (SE 0.15) und KURA F: 0.9 N/cm<sup>2</sup> (SE 0.47) pro kg Körpergewicht; <sup>1,2</sup>: verschiedene Indizes (<sup>1,2</sup>) bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zonen (P < 0.05 im Vergleich der Vertrauensintervalle)

## 6.2 Kühe

Bis auf eine Ausnahme (Gummimatte KURA FE) konnten alle Daten wie vorgesehen erhoben und ausgewertet werden. Bei der genannten Gummimatte waren aufgrund eines Fehlers bei der Datenübertragung nur die Daten von zehn Tieren vorhanden.

### 6.2.1 Verteilung der Gewichtskraft zwischen Vorder- und Hintergliedmassen

Das aus der gemessenen Kraft berechnete Körpergewicht zeigte einen Mittelwert von 637.7 kg auf, ähnlich dem Gewicht, welches auf der Brückenwaage ermittelt wurde (durchschnittlich 641 kg). Die gemessene Kraft war signifikant ( $P < 0.01$ ) abhängig von der Klauenzone.

Unter der **Gummimatte KURA FE** wirkte bei den Kühen auf die Vordergliedmassen eine Kraft von 3319.6 N (SE 192.6), auf die Hintergliedmassen eine von 2818.0 N (SE 198.0) ein. Daraus ergab sich eine relative Gewichtsverteilung von 54.1 % zu 45.9 %.

Unter der **Gummimatte KURA F** wurden die Vordergliedmassen mit 3392.4 N (SE 138.0) und die Hintergliedmassen mit 2868.9 N (Se 142.4) belastet. Die relative Gewichtsverteilung auf dieser Gummimatte betrug 54.2 % zu 45.8 %.

Bei **ebener Standfläche ohne Gummimatte** wurden 54.2 % des Gewichtes von den Vorder- und 45.8 % von den Hintergliedmassen getragen. Als absolute Werte wurden für die Vordergliedmassen 3400.1 N (SE 153.1) und für die Hintergliedmassen 2871.4 N (SE 158.1) ermittelt.

Bei **3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte** betrugen die absoluten Werte für die Vordergliedmassen 3374.1 N (SE 153.4) und für die Beckengliedmassen 2882.1 N (SE 158.3). Dies resultierte in einer relativen Gewichtsverteilung von 53.9 % zu 46.1 %.

Zwischen den einzelnen Messpositionen und zwischen Vorder- und Hintergliedmassen waren die gefundenen Werte nicht signifikant unterschiedlich, da sich die

aus Mittelwert und Standardfehler berechneten Konfidenzintervalle überschritten. Zwischen der linken und der rechten Schulter- bzw. Beckengliedmasse wurde die Kraft nicht signifikant unterschiedlich verteilt. Daher wurden im Folgenden die rechte und die linke Gliedmasse zusammengefasst.

### *6.2.2 Verteilung der Gewichtskraft innerhalb einer Gliedmasse*

#### *6.2.2.1 Schultergliedmassen*

Unter der **Gummimatte KURA FE** waren 34.6 % der Gewichtskraft einer Gliedmasse auf die laterale und 65.4 % auf die mediale Klaue verteilt (Abb. 16). Absolut waren dies 573.6 N (SE 93.0) bzw. 1086.2 N (SE 99.5). Diese Gewichtsverteilung war signifikant unterschiedlich.

Bei den Messungen unter der **Gummimatte KURA F** wurde ebenfalls die mediale Klaue der Schultergliedmasse signifikant stärker belastet als die laterale, mit 61.5 % zu 38.5 %. Die absoluten Werte betrugen 1043.5 N (SE 71.2) bzw. 652.7 N (SE 66.7).

Auf **ebener Standfläche ohne Gummimatte** betrug die relative Gewichtsverteilung zwischen Aussen- und Innenklaue 35.4 % zu 64.6 %. Absolut wurden lateral 601.4 N (SE 74.0) und medial 1098.6 N (SE 79.0) gemessen. Auch diese Gewichtsverteilung war signifikant unterschiedlich.

Auch auf **3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte** war die relative Belastung mit 35.2% lateral zu 64.8 % medial, bzw. absolut 593.6 N (SE 74.2) zu 1093.4 N (SE 79.2), signifikant unterschiedlich.

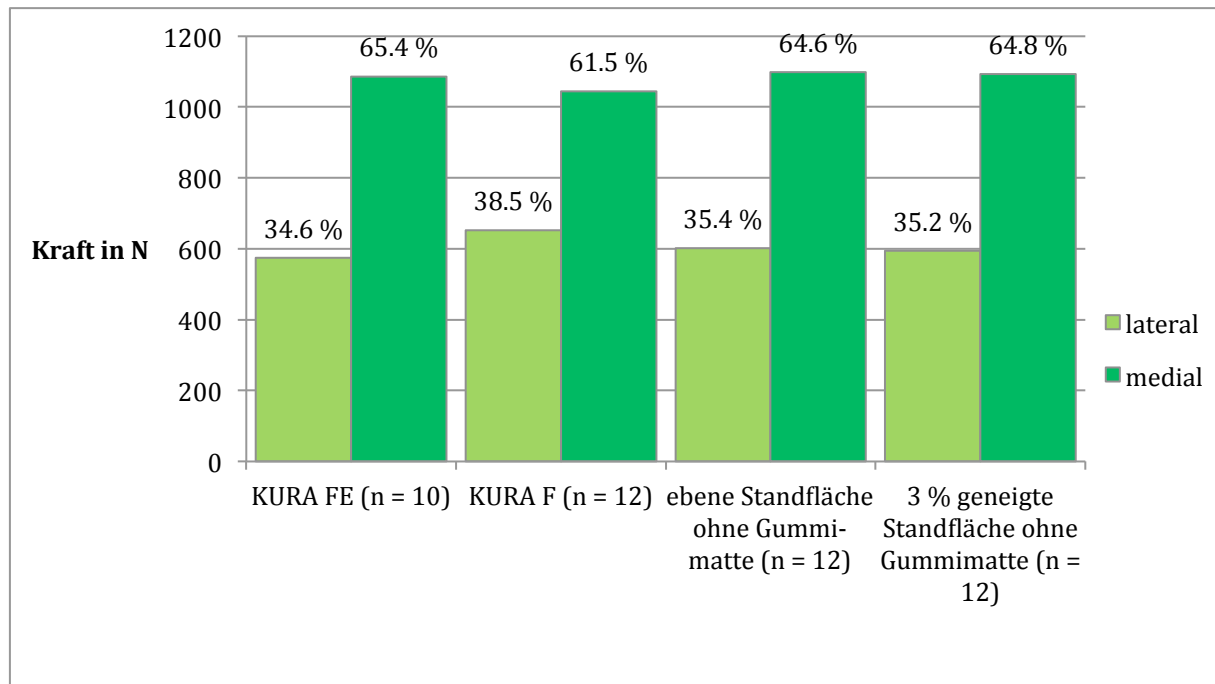


Abb. 16: Verteilung der Gewichtskräfte auf die Innen- und Aussenklauen der Vordergliedmassen bei Braunvieh-Kühen in den vier verschiedenen Messpositionen

#### 6.2.2.2 Beckengliedmassen

Unter der **Gummimatte KURA FE** wurde die Aussenklaue der Hintergliedmassen signifikant stärker belastet als die Innenklaue (Abb. 17). So wurde ein Verhältnis von lateral zu medial von 73.2 % zu 26.8 %, bzw. von 1031.3 N (SE 99.5) zu 377.7 N (SE 99.5) gemessen.

Unter der **Gummimatte KURA F** war das Gewicht zu 65.3 % auf die laterale und 34.7 % auf die mediale Klaue verteilt (Abb. 17). Die absolut gemessenen Werte betrugen lateral 937.1 N (SE 71.2) und medial 497.4 N (SE 71.2). Die laterale Klaue wurde signifikant stärker belastet als die mediale.

Bei **ebener Standfläche ohne Gummimatte** wurden 68.2 % des Gewichtes durch die laterale Klaue und 31.8 % durch die mediale getragen (Abb. 17). Die Kraft, die dadurch auf die laterale Klaue wirkte, betrug 979.1 N (SE 79.0) und an der medialen Klaue 456.55 N (SE 79.0). Diese Werte unterschieden sich signifikant.

Die relative Gewichtsverteilung auf **3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte** betrug 63.0 % für die laterale und 37.0 % für die mediale Klaue (Abb. 17). Die absolute Kraft betrug an der Aussenklaue 907.5 N (SE 79.2) und an der Innenklaue 533.6 N (SE 79.2). Die Unterschiede zwischen lateraler und medialer Klaue an den Hintergliedmassen waren signifikant.

Beim Vergleich der Messergebnisse bei ebener und bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche fällt eine tendenzielle Umverteilung der Gewichtskraft von der lateralen zur medialen Klaue auf (Abb. 17).

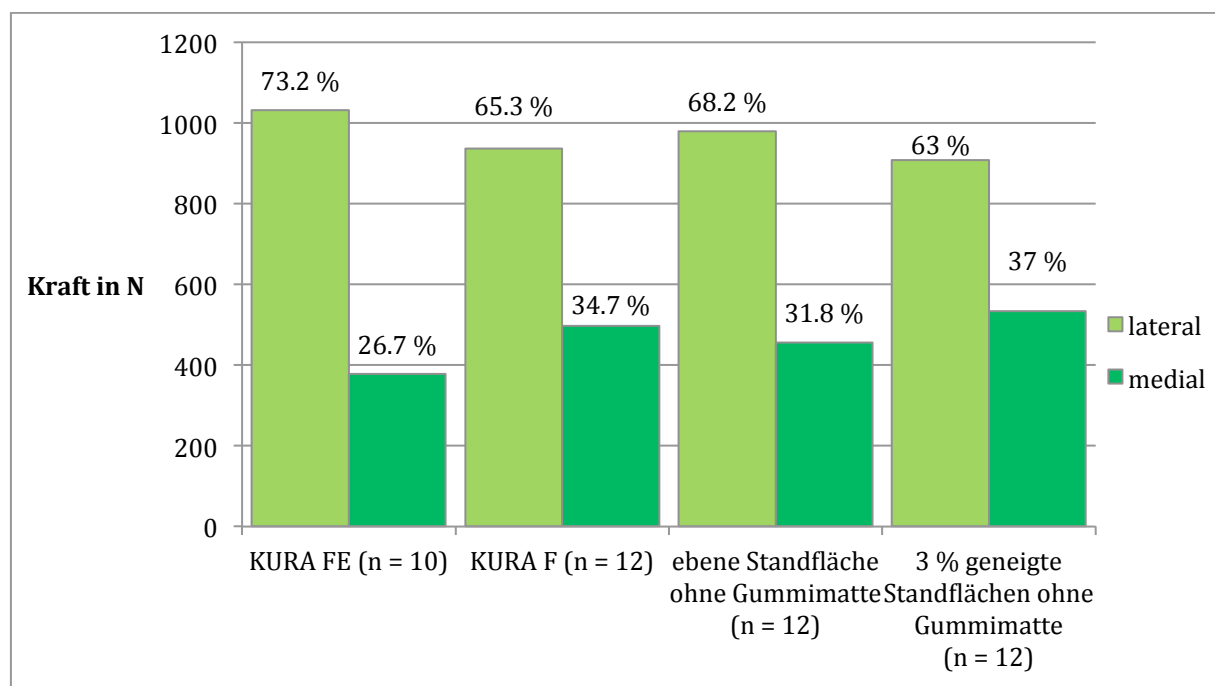


Abb. 17: Verteilung der Gewichtskräfte auf die Innen- und Aussenklauen der Hintergliedmassen bei Braunvieh-Kühen in den vier verschiedenen Messpositionen

### 6.2.3 Verteilung der Gewichtskraft innerhalb einer Klaue

Bei allen Unterlagen lastete in den Ballenzonen der medialen Klauen der Vordergliedmassen eine signifikant grössere Kraft als auf den Sohlenspitzenzonen. Mit Ausnahme der Messungen unter der Gummimatte KURA FE waren an den latera-

len Klauen der Hintergliedmassen ebenfalls signifikant grössere Kräfte in der Ballenzone zu finden als in der Sohlenspitzenzone.

An den Aussenklauen der Vorder- und den Innenklauen der Hintergliedmassen fiel die Verteilung der Gewichtskraft zwischen Sohlenspitzen- und Ballenzone weniger deutlich aus. Teilweise wurde die Sohlenspitze mehr belastet als die Ballenzone. Allerdings waren diese Unterschiede in der Gewichtsverteilung nicht signifikant. Im Vergleich der verschiedenen Messpositionen gab es keine signifikanten Unterschiede innerhalb einer Zone (Abb. 18, Abb. 19, Abb. 20, Abb. 21, Tab. 5).

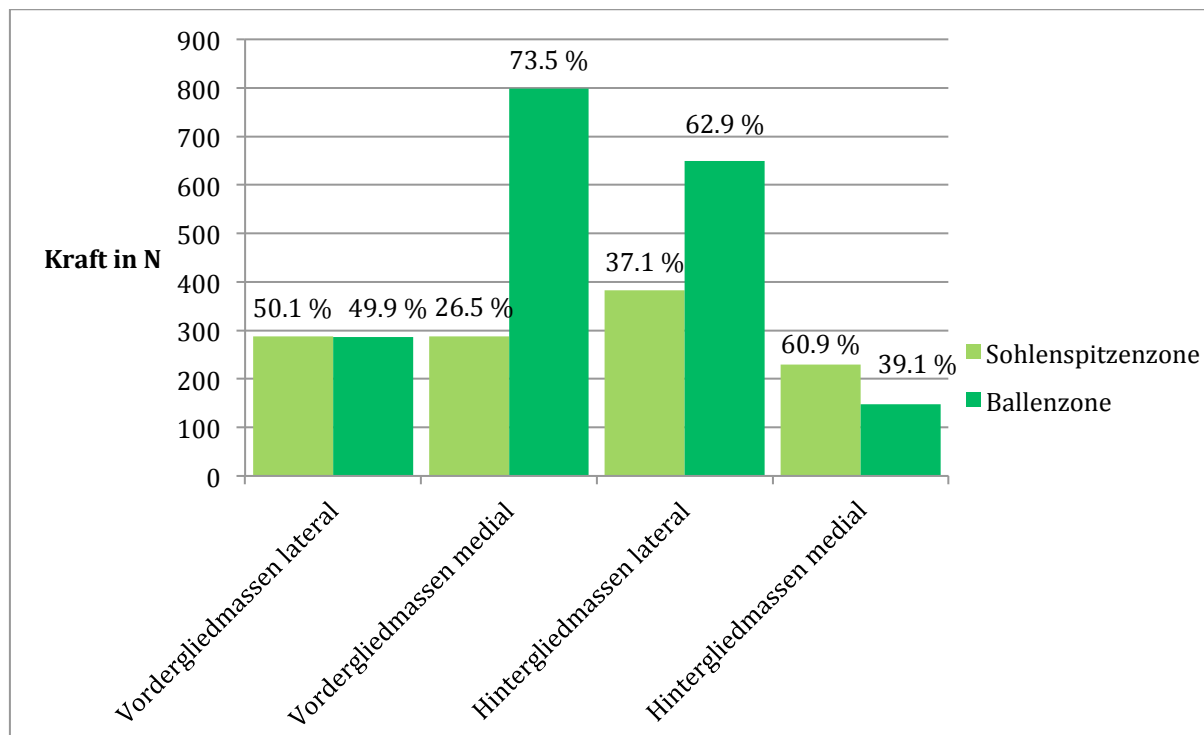


Abb. 18: Verteilung der Gewichtskraft auf die Zonen der Klauen der Schulter- und Beckengliedmassen von zehn Braunvieh-Kühen unter der Gummimatte KURA FE

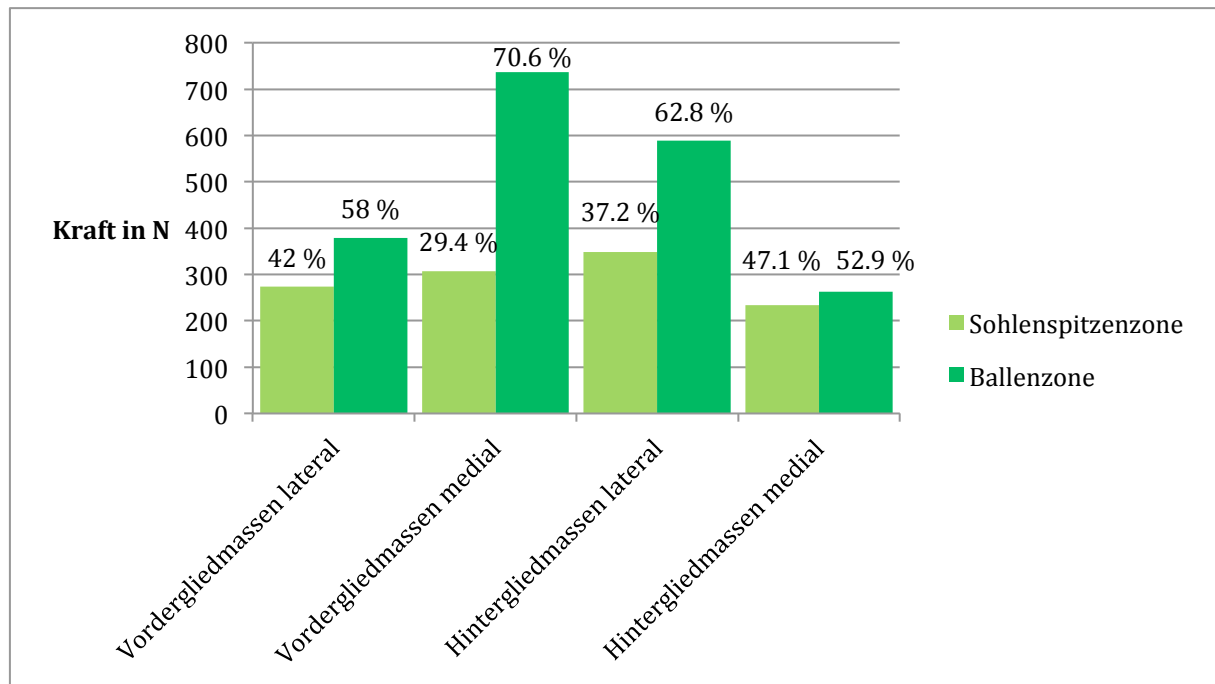


Abb. 19: Verteilung der Gewichtskraft auf die Zonen der Klauen der Schulter- und Beckengliedmassen von zwölf Braunvieh-Kühen unter der Gummimatte KURA F

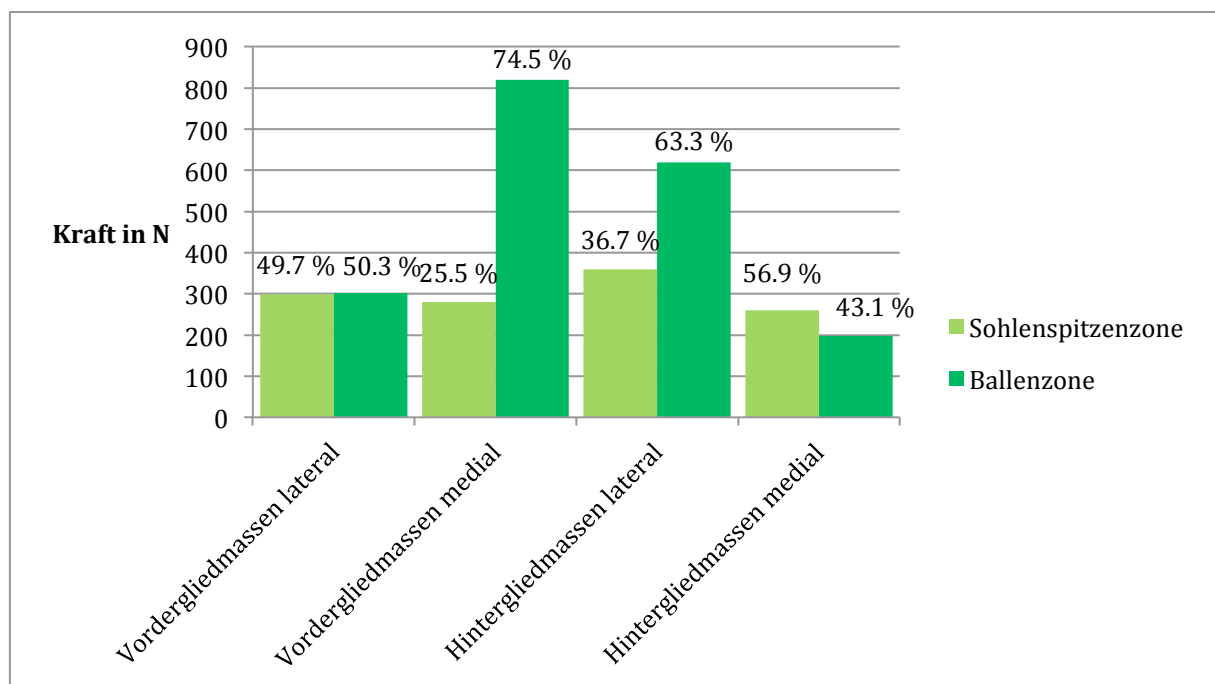


Abb. 20: Verteilung der Gewichtskraft auf die Zonen der Klauen der Schulter- und Beckengliedmassen von zwölf Braunvieh-Kühen bei ebener Standfläche ohne Gummimatte

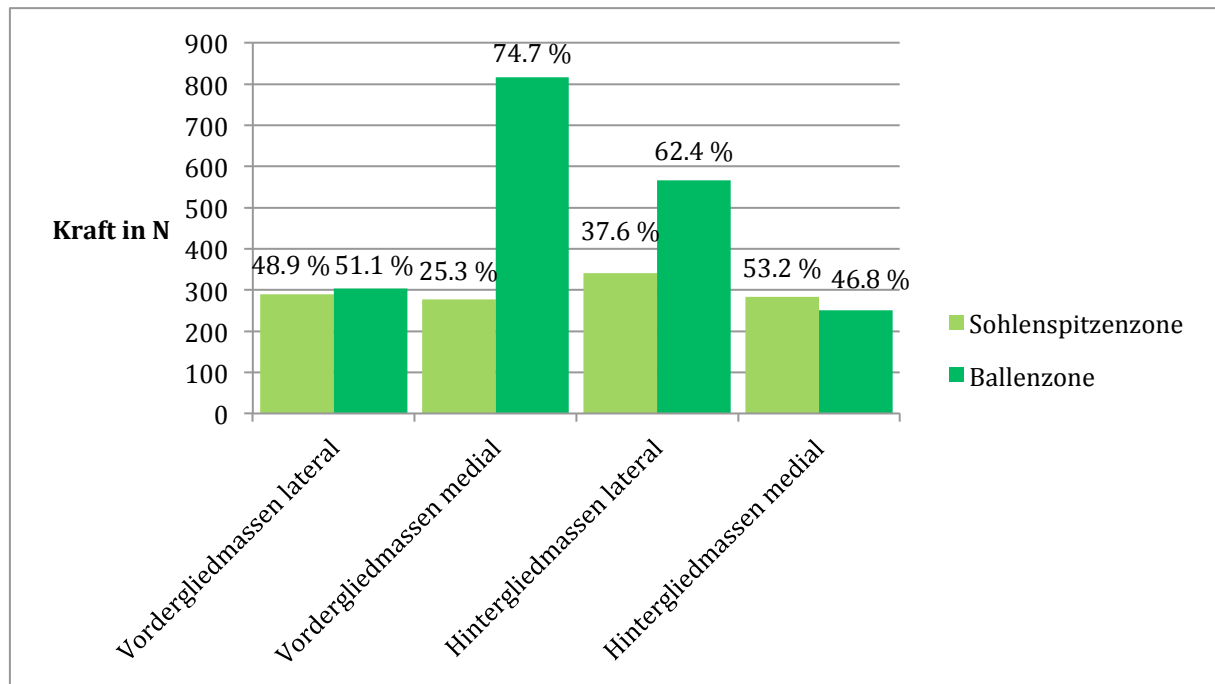


Abb. 21: Verteilung der Gewichtskraft auf die Zonen der Klauen der Schulter- und Beckengliedmassen von zwölf Braunvieh-Kühen bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte



Tab. 5: Kraft unter den Klauen der Vorder- und Hintergliedmassen, aufgeteilt in Zonen bei Braunvieh-Kühen in den verschiedenen Messpositionen in N.

Zone	KURA FE (n = 10)		KURA F (n = 12)		Ebene Standfläche ohne Gummimatte (n = 12)		3% nach kaudal geneigte Standfläche ohne Gummimatte (n = 12)		
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
Vordergliedmas-	Spitzenzone lateral	287.2	60.9	273.8	43.8	299	48.5	290.2	48.6
	Ballenzone lateral	286.4	60.9	378.9	43.8	302.5	48.5	303.5	48.6
	Spitzenzone medial	287.7 <sup>1</sup>	60.9	307.1 <sup>2</sup>	43.8 <sup>4</sup>	279.8 <sup>6</sup>	48.5	276.4 <sup>8</sup>	48.6
	Ballenzone medial	798.6 <sup>1</sup>	60.9	736.4 <sup>2</sup>	43.8 <sup>4</sup>	818.9 <sup>6</sup>	48.5	817 <sup>8</sup>	48.6
Hintergliedmas-	Spitzenzone lateral	382.2	60.9	348.3 <sup>3</sup>	43.8 <sup>5</sup>	359.6 <sup>7</sup>	48.5	341.4 <sup>9</sup>	48.6
	Ballenzone lateral	649.1	60.9	588.8 <sup>3</sup>	43.8 <sup>5</sup>	619.5 <sup>7</sup>	48.5	566.1 <sup>9</sup>	48.6
	Spitzenzone medial	230	60.9	234.1	43.8	259.6	48.5	283.7	48.6
	Ballenzone medial	147.7	60.9	263.3	43.8	196.9	48.5	249.8	48.6

<sup>1-9</sup>: Gleiche Indizes bedeuten signifikanten Unterschied zwischen den Zonen.

#### 6.2.4 Fläche der Klauenabdrücke

Die Grösse der Flächen der gemessenen Klauenabdrücke stand in einem signifikanten Zusammenhang ( $P < 0.01$ ) mit der Klauenzone, der jeweiligen Messposition (Gummimatte KURA FE, Gummimatte KURA F, ebene Standfläche ohne Gummimatte, 3 % nach kaudal geneigte Standfläche ohne Gummimatte) und der Distanz zwischen den Schwerpunkten der linken und der rechten Gliedmasse. Die durchschnittliche Distanz zwischen den Schwerpunkten betrug 29.7 cm (Max. 59.6 cm, Min. 5.5 cm). Wie stark die Fläche der Klauenabdrücke mit der Klauenzone zusammenhing, wurde signifikant ( $P < 0.01$ ) von der jeweiligen Gummimatte beeinflusst. Im Gegensatz zu den Rindern bestand keine signifikante Abhängigkeit vom Körpergewicht. Die im folgenden Abschnitt angegebenen Werte wurden um die durchschnittliche Distanz von 29.7 cm zwischen den Schwerpunkten der linken und rechten Gliedmasse korrigiert.

Bei den Messungen, welche mit der Gummimatte KURA F durchgeführt wurden, konnten signifikant grössere Klauenabdrücke als bei den übrigen Messpositionen gemessen werden (Abb. 23, Tab. 6). Unter der Gummimatte KURA F stellten sich die Flächen der Ballenregionen an allen Klauen grösser dar als diejenigen der Sohlenspitzenregionen. Unter der Gummimatte KURA FE (Abb. 22, Tab. 6), auf ebener (Abb. 24, Tab. 6) und 3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte (Abb. 25, Tab. 6) wiesen ebenfalls die Ballenregionen grössere Flächen als die Sohlenspitzenregionen auf, ausser an der Aussenklaue der Vordergliedmasse. An dieser Klaue hatte die Sohlenspitzenzone eine grössere Fläche als die Ballenzone. An den Vordergliedmassen konnten in allen Messpositionen die grössten Flächen der Klauenabdrücke an der medialen Klaue gefunden werden (KURA FE:  $28.9 \text{ cm}^2$  (SE 2.4); KURA F:  $74.2 \text{ cm}^2$  (SE 4.8); ebene Standfläche ohne Gummimatte:  $24.4 \text{ cm}^2$  (SE 1.4); 3 % nach kaudal geneigte Standfläche ohne Gummimatte:  $25.4 \text{ cm}^2$  (SE 1.8)). An den Hintergliedmassen wiesen die lateralen Klauen die

grössten Klauenabdrücke auf (KURA FE: 29.6 cm<sup>2</sup> (SE 2.4); KURA F: 70.8 cm<sup>2</sup> (SE 4.8); ebene Standfläche ohne Gummimatte: 26.3 cm<sup>2</sup> (SE 1.4); 3 % nach kaudal geneigte Standfläche ohne Gummimatte: 27.1 cm<sup>2</sup> (SE 1.8)) (Tab. 6).

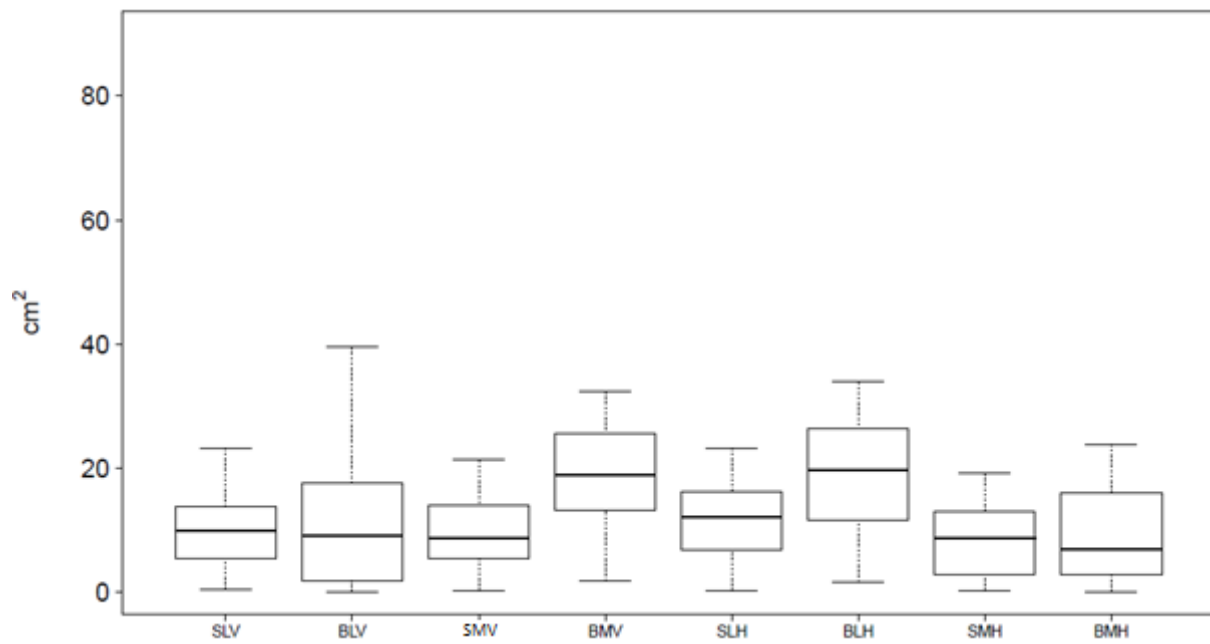


Abb. 22: Fläche der Klauenabdrücke je Zone unter der Gummimatte KURA FE bei zehn Braunvieh-Kühen; Legende siehe Abb. 11

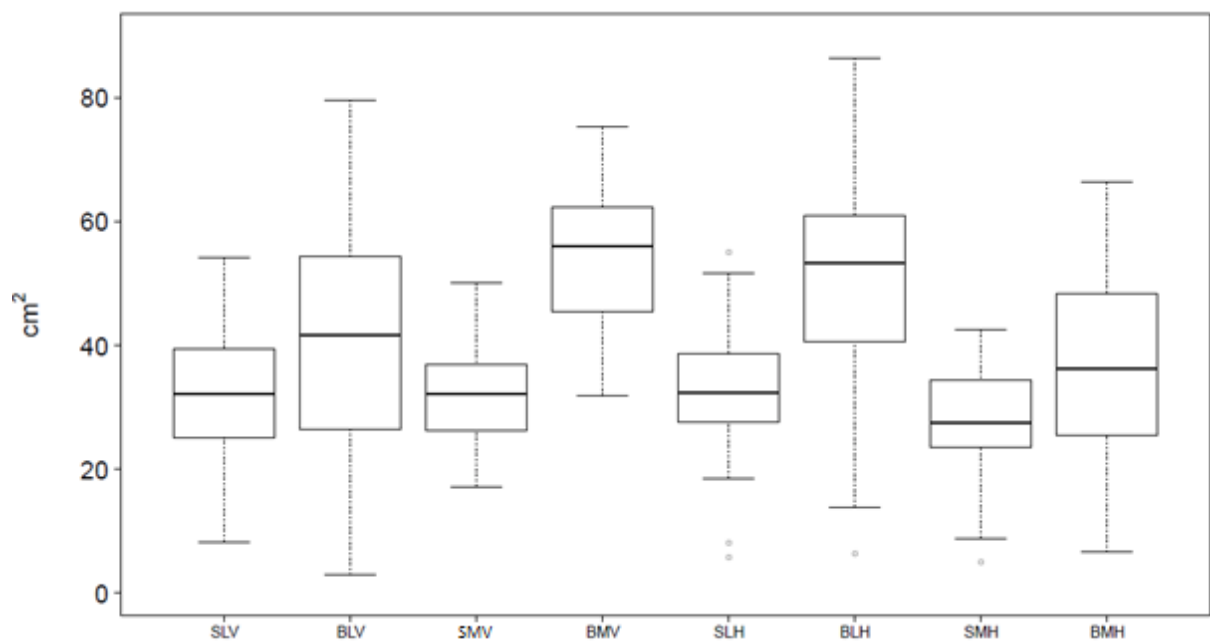


Abb. 23: Fläche der Klauenabdrücke je Zone unter der Gummimatte KURA F bei zwölf Braunvieh-Kühen; Legende siehe Abb. 11

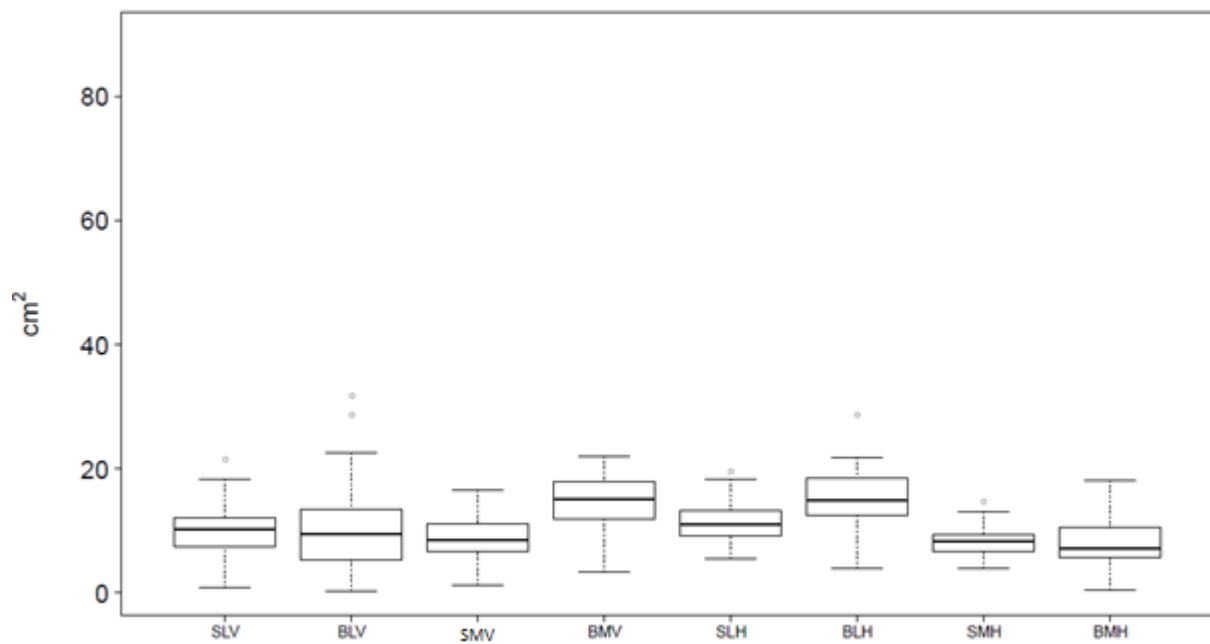


Abb. 24: Fläche der Klauenabdrücke je Zone bei ebener Standfläche ohne Gummimatte bei zwölf Braunvieh-Kühen; Legende siehe Abb. 11

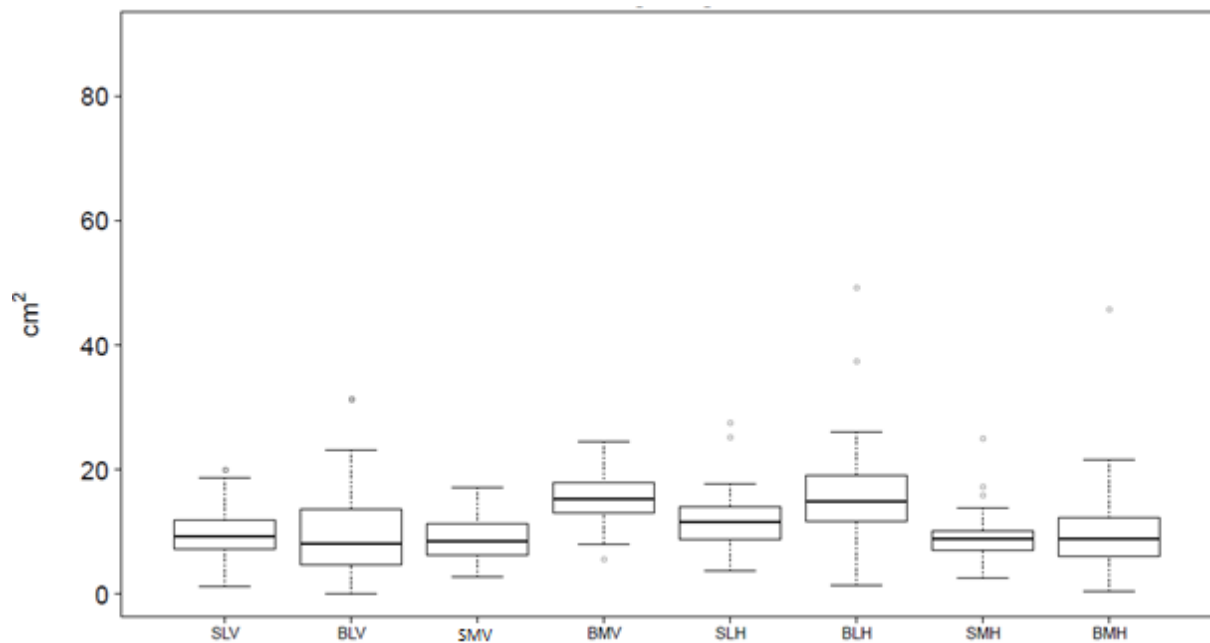


Abb. 25: Fläche der Klauenabdrücke je Zone bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte bei zwölf Braunvieh-Kühen; Legende siehe Abb. 11

Tab. 6: Fläche der Klauenabdrücke unter den Klauen der Vorder- und Hintergliedmassen in cm<sup>2</sup>, aufgeteilt in zwei Zonen, bei Braunvieh-Kühen in den verschiedenen Messpositionen, für eine durchschnittliche Distanz zwischen den Schwerpunkt-ten der linken und rechten Gliedmasse von 29.7 cm.

Zone	KURA FE (n = 10)		KURA F (n = 12)		Ebene Standfläche ohne Gummimatte (n = 12)		3% nach kaudal geneigte Standfläche ohne Gummimatte (n = 12)		
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
Vorderglied-massen	Spitzenzone lateral	9.4 <sup>1</sup>	1.7	31.7 <sup>2</sup>	3.4	10.0 <sup>1</sup>	1.0	10.0 <sup>1</sup>	1.2
	Ballenzone lateral	8.9 <sup>1</sup>	1.7	34.0 <sup>2</sup>	3.4	9.5 <sup>1</sup>	1.0	8.6 <sup>1</sup>	1.2
	Spitzenzone medial	9.9 <sup>1</sup>	1.7	26.0 <sup>2</sup>	3.4	9.2 <sup>1</sup>	1.0	9.5 <sup>1</sup>	1.2
	Ballenzone medial	19.0 <sup>1</sup>	1.7	48.2 <sup>2</sup>	3.4	15.2 <sup>1</sup>	1.0	16.0 <sup>1</sup>	1.2
Hinterglied-massen	Spitzenzone lateral	11.4 <sup>1</sup>	1.7	26.0 <sup>2</sup>	3.4	11.3 <sup>1</sup>	1.0	11.5 <sup>1</sup>	1.2
	Ballenzone lateral	18.2 <sup>1</sup>	1.7	44.8 <sup>2</sup>	3.4	15.1 <sup>1</sup>	1.0	15.6 <sup>1</sup>	1.2
	Spitzenzone medial	7.6 <sup>1</sup>	1.7	21.1 <sup>2</sup>	3.4	8.0 <sup>1</sup>	1.0	9.0 <sup>1</sup>	1.2
	Ballenzone medial	5.7 <sup>1</sup>	1.7	30.1 <sup>2</sup>	3.4	6.6 <sup>1</sup>	1.0	8.4 <sup>1</sup>	1.2

Korrekturfaktor für den Einfluss der Distanz zwischen den Schwerpunkten: KURA FE: 1.07 mm<sup>2</sup> (SE 0.4), KURA F: 2.0 mm<sup>2</sup> (SE 0.8), ebene Standfläche ohne Gummimatte: 0.7 mm<sup>2</sup> (SE 0.3) und 3 % geneigte Standfläche ohne Gummimatte: 0.8 mm<sup>2</sup> (SE 0.4) pro cm Distanz. <sup>1,2</sup>: verschiedene Indizes (<sup>1,2</sup>) bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zonen (P < 0.05 im Vergleich der Vertrauensintervalle)

### 6.2.5 Mittlerer Druck

Der mittlere Druck war signifikant ( $P < 0.01$ ) abhängig von der Klauenzone und der Messposition. Wie stark der mittlere Druck mit der Klauenzone zusammenhing, wurde signifikant ( $P < 0.01$ ) von der jeweiligen Gummimatte beeinflusst. Hinzu kam der signifikante Einfluss der Distanz zwischen den Schwerpunkten der linken und der rechten Gliedmasse, der im Folgenden anhand einer durchschnittlichen Distanz zwischen den Schwerpunkten von 29.7 cm berücksichtigt wurde.

Bei den Messungen, die unter der **Gummimatte KURA FE** durchgeführt wurden, wurde über die Klauen der Vordergliedmassen ein mittlerer Druck von  $33.0 \text{ N/cm}^2$  (SE 5.4) gemessen. Der höchste mittlere Druck an den Schultergliedmassen befand sich in der Ballenregion der medialen Klaue (Tab. 7). In dieser Zone wurde ein Druck von  $43.3 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.9) gemessen. Der kleinste mittlere Druck befand sich im Ballenbereich der Aussenklaue und betrug  $26.9 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.9).

An den Hintergliedmassen konnte ein durchschnittlicher mittlerer Druck von  $31.8 \text{ N/cm}^2$  (SE 5.4) gefunden werden. Der höchste mittlere Druck der Beckengliedmasse war in der Ballenregion der lateralen Klaue lokalisiert (Tab. 7). Im genannten Bereich wurde ein Wert von  $38.3 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.9) gemessen. Der kleinste mittlere Druck lag in der Ballenregion der medialen Klaue der Beckengliedmassen. Gemessen wurde ein Wert von  $19.9 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.9).

Unter der **Gummimatte KURA F** waren die gemessenen mittleren Drücke signifikant niedriger als in den übrigen Messpositionen. Über alle Klauen der Schultergliedmassen wurde ein durchschnittlicher mittlerer Druck von  $9.9 \text{ N/cm}^2$  (SE 2.5) gemessen. Der höchste mittlere Druck unter der Gummimatte KURA F befand sich in der Ballenregion der medialen Klaue (Tab. 7). Es wurde ein Wert von  $13.5 \text{ N/cm}^2$  (SE 1.7) ermittelt. Der niedrigste mittlere Druck war in der Ballenregion der lateralen Klaue lokalisiert und betrug  $8.2 \text{ N/cm}^2$  (SE 1.7).

An den Beckengliedmassen betrug der durchschnittliche mittlere Druck  $10.1 \text{ N/cm}^2$  (SE 2.5). Der höchste mittlere Druck war in der Sohlenspitzenregion der

Aussenklaue lokalisiert (Tab. 7). In dieser Zone war ein Wert von  $11.9 \text{ N/cm}^2$  (SE 1.7) zu finden. Der niedrigste mittlere Druck befand sich in der Ballenregion der medialen Klaue und mass  $7.5 \text{ N/cm}^2$  (SE 1.7).

Bei den Messungen, welche auf **ebener Standfläche ohne Gummimatte** durchgeführt wurden, betrug der mittlere Druck über alle Klauen der Vordergliedmassen  $35.5 \text{ N/cm}^2$  (SE 4.9). Der höchste mittlere Druck befand sich in der Ballenregion der Innenklaue (Tab. 7). In diesem Bereich wurden  $54.7 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.5) gemessen. Dieser höchste mittlere Druck unterschied sich im Vergleich der Konfidenzintervalle signifikant von den Drücken, die in den übrigen Zonen der Vordergliedmassen gemessen wurden. Der niedrigste mittlere Druck war in der Ballenzone der Aussenklaue lokalisiert und betrug  $27.1 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.5). Der gefundene niedrigste mittlere Druck war nur signifikant unterschiedlich vom höchsten gemessenen mittleren Druck.

An den Hintergliedmassen betrug der mittlere Druck über alle Klauen  $31.6 \text{ N/cm}^2$  (SE 4.9). Der höchste mittlere Druck an den Beckengliedmassen befand sich in der Ballenregion der lateralen Klaue (Tab.5). Der gefundene Wert lag bei  $40.0 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.5). Der niedrigste gemessene Druck befand sich in der Ballenregion der Innenklauen und betrug  $23.6 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.5). Die genannten mittleren Drücke unterschieden sich nicht signifikant.

Auf der **3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte** wurde über die Klauen der Vordergliedmassen ein mittlerer Druck von  $34.2 \text{ N/cm}^2$  (SE 5.3) gemessen. Der höchste mittlere Druck wurde in der Ballenzone der medialen Klauen der Schultergliedmassen gefunden (Tab. 7). In diesem Bereich wurde ein Wert von  $51.3 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.7) gemessen. Dieser Wert unterschied sich signifikant vom niedrigsten gemessenen mittleren Druck. Dieser war in der Ballenregion der lateralen Klaue lokalisiert und zeigte einen Wert von  $26.8 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.7).

An den Hintergliedmassen lag der mittlere Druck über alle Klauen bei  $31.7 \text{ N/cm}^2$  (SE 5.3). Der höchste mittlere Druck von  $38.0 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.7) lag in der Ballenre-



gion der lateralen Klaue (Tab. 7). Der niedrigste mittlere Druck war in der Ballenregion der Innenklaue lokalisiert. In diesem Bereich wurden  $25.8 \text{ N/cm}^2$  (SE 3.7) gemessen. Die gemessenen höchsten und niedrigsten mittleren Drücke an der Hintergliedmasse unterschieden sich nicht signifikant.

Tab. 7: Mittlerer Druck unter den Klauen der Vorder- und Hintergliedmassen, aufgeteilt in Zonen bei Braunvieh-Kühen in den verschiedenen Messpositionen in N/cm<sup>2</sup>, für eine durchschnittliche Distanz zwischen den Schwerpunkten der linken und rechten Gliedmasse von 29.7 cm.

Zone	KURA FE (n = 10)		KURA F (n = 12)		Ebene Standfläche ohne Gummimatte (n = 12)		3% nach kaudal geneigte Standfläche ohne Gummimatte (n = 12)		
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
Vorderglied-massen	Spitzenzone lateral	29.4 <sup>1</sup>	3.9	8.4 <sup>2</sup>	1.8	29.7 <sup>1</sup>	3.5	29.5 <sup>1</sup>	3.7
	Ballenzone lateral	26.9 <sup>1</sup>	3.9	8.2 <sup>2</sup>	1.8	27.1 <sup>1</sup>	3.5	26.8 <sup>1</sup>	3.7
	Spitzenzone medial	32.6 <sup>1</sup>	3.9	9.7 <sup>2</sup>	1.8	30.6 <sup>1</sup>	3.5	29.4 <sup>1</sup>	3.7
	Ballenzone medial	43.3 <sup>1</sup>	3.9	13.5 <sup>2</sup>	1.8	54.7 <sup>1</sup>	3.5	51.3 <sup>1</sup>	3.7
Hinterglied-massen	Spitzenzone lateral	35.4 <sup>1</sup>	3.9	12.0 <sup>2</sup>	1.8	31.6 <sup>1</sup>	3.5	30.2 <sup>1</sup>	3.7
	Ballenzone lateral	38.3 <sup>1</sup>	3.9	11.9 <sup>2</sup>	1.8	40.0 <sup>1</sup>	3.5	38.0 <sup>1</sup>	3.7
	Spitzenzone medial	33.6 <sup>1</sup>	3.9	8.8 <sup>2</sup>	1.8	31.4 <sup>1</sup>	3.5	32.7 <sup>1</sup>	3.7
	Ballenzone medial	19.9 <sup>1</sup>	3.9	7.5 <sup>2</sup>	1.8	23.6 <sup>1</sup>	3.5	25.8 <sup>1</sup>	3.7

Korrekturfaktor Distanz: KURA FE: -0.3 N/cm<sup>2</sup> (SE 0.1), KURA F: 0.03 N/cm<sup>2</sup> (SE 0.05), ebene Standfläche ohne Gummimatte: -0.02 N/cm<sup>2</sup> (SE 0.1), 3 % geneigte Standfläche ohne Gummimatte: -0.08 N/cm<sup>2</sup> (SE 0.1) pro cm Distanz zwischen den Schwerpunkten; <sup>1,2</sup>: verschiedene Indizes (<sup>1,2</sup>) bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zonen (P < 0.05 im Vergleich der Vertrauensintervalle)

#### 6.2.6 Maximaler Druck

In allen Messpositionen konnten an den Vordergliedmassen die höchsten maximalen Drücke in der Ballenregion der medialen Klauen (KURA FE: 79.0 N/cm<sup>2</sup> (SE 4.3); KURA F: 154.6 N/cm<sup>2</sup> (SE 7.6); ebene Standfläche ohne Gummimatte: 145.9 N/cm<sup>2</sup> (SE 5.8); 3 % nach kaudal geneigte Standfläche: 141.3 N/cm<sup>2</sup> (SE 6.4)) gemessen werden. Die maximalen Drücke der Hintergliedmassen waren in der Ballenregion der lateralen Klauen der Hintergliedmassen lokalisiert (KURA FE: 62.2 N/cm<sup>2</sup> (SE 4.3); KURA F: 130.1 N/cm<sup>2</sup> (SE 7.6); ebene Standfläche ohne Gummimatte: 110.8 N/cm<sup>2</sup> (SE 5.8); 3 % nach kaudal geneigte Standfläche: 106.4 N/cm<sup>2</sup> (SE 6.4)) (Tab. 8, Abb. 28, Abb. 29, Abb. 30, Abb. 31). Am häufigsten lagen die gemessenen höchsten maximalen Drücke im Zentrum der jeweiligen Ballenzone (Abb. 26, Abb. 27, Tab. 8). Zudem konnte, beim Vergleich der Messergebnisse bei ebener und bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche, eine tendenzielle Umverteilung der maximalen Drücke von der lateralen zur medialen Klaue festgestellt werden. Die niedrigsten maximalen Drücke, die an den Beckengliedmassen gemessen wurden, konnten in allen Messpositionen in der Ballenregion der medialen Klauen gefunden werden (KURA FE: 22.3 N/cm<sup>2</sup> (SE 4.3); KURA F: 66.7 N/cm<sup>2</sup> (SE 7.6); ebene Standfläche ohne Gummimatte: 54.3 N/cm<sup>2</sup> (SE 5.8); 3 % nach kaudal geneigte Standfläche: 61.0 N/cm<sup>2</sup> (SE 6.4)). An den Vordergliedmassen war die Lokalisation der niedrigsten maximalen Drücke weniger einheitlich. So wurden unter der Gummimatte KURA FE und bei den Messungen bei ebener Standfläche ohne Gummimatte die niedrigsten maximalen Drücke in der Ballenzone der lateralen Klauen (KURA FE: 34.7 N/cm<sup>2</sup> (SE 4.3); ebene Standfläche ohne Gummimatte: 63.4 N/cm<sup>2</sup> (SE 5.8)), unter der Gummimatte KURA F in der Sohlenspitzenzone der lateralen Klaue (84.0 N/cm<sup>2</sup> (SE 7.6)) und bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche in der Sohlenspitzenzone der medialen Klaue festgestellt (63.3 N/cm<sup>2</sup> (SE 6.4)). An Vorder- und Hintergliedmassen waren die höchsten und die niedrigsten maximalen Drücke jeweils signifikant unter-

schiedlich. An den Vordergliedmassen waren zudem bei allen Unterlagen und an den Hintergliedmassen bei ebener Standfläche ohne Gummimatte die höchsten maximalen Drücke signifikant grösser als die maximalen Drücke der übrigen Zonen.

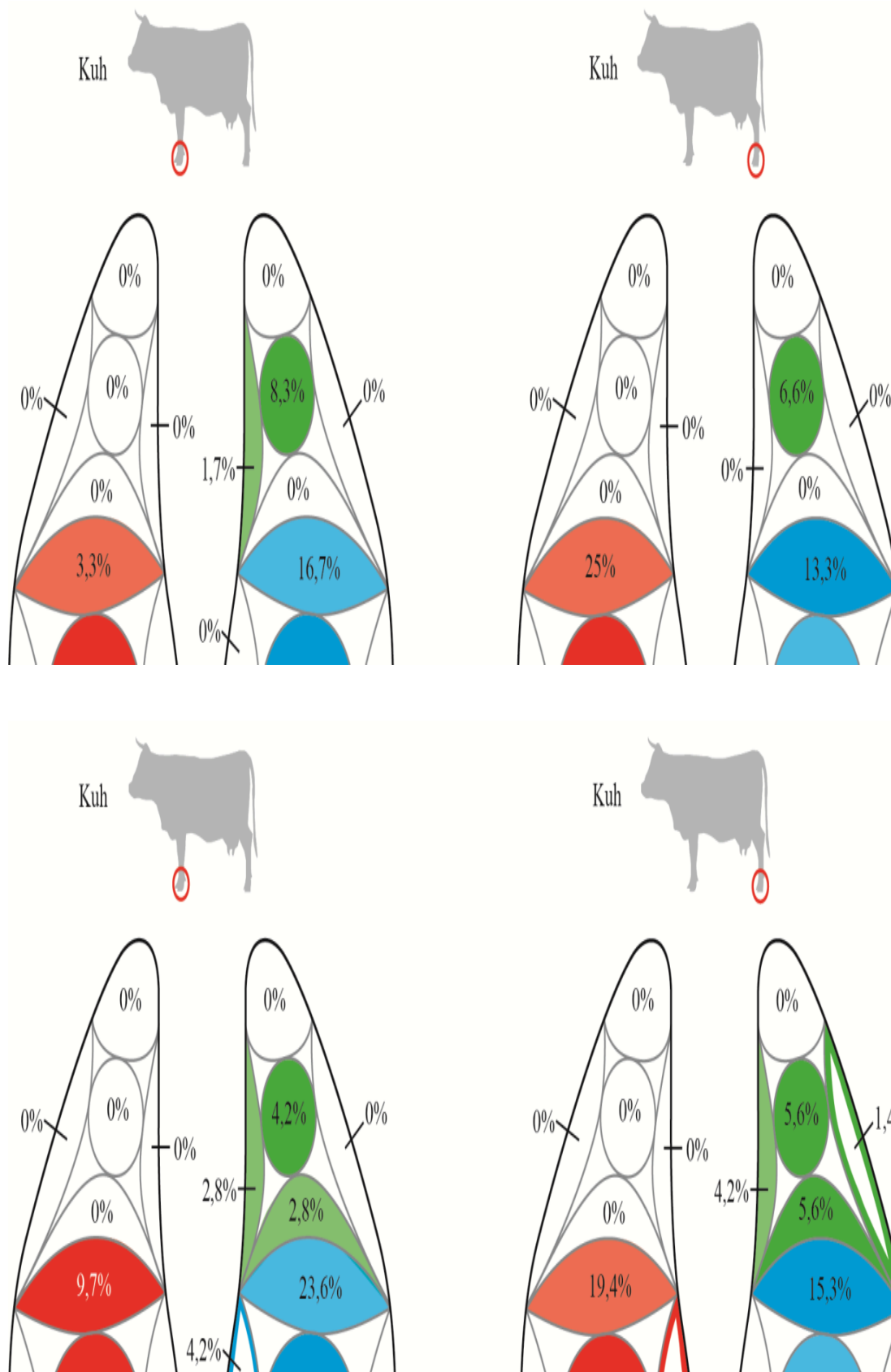


Abb. 26: Verteilung der Maximaldrücke unter den Klauen von Braunviehkühen beim Stehen auf den Gummimatten KURA FE (oben, n = 10) und KURA F (unten, n = 12).

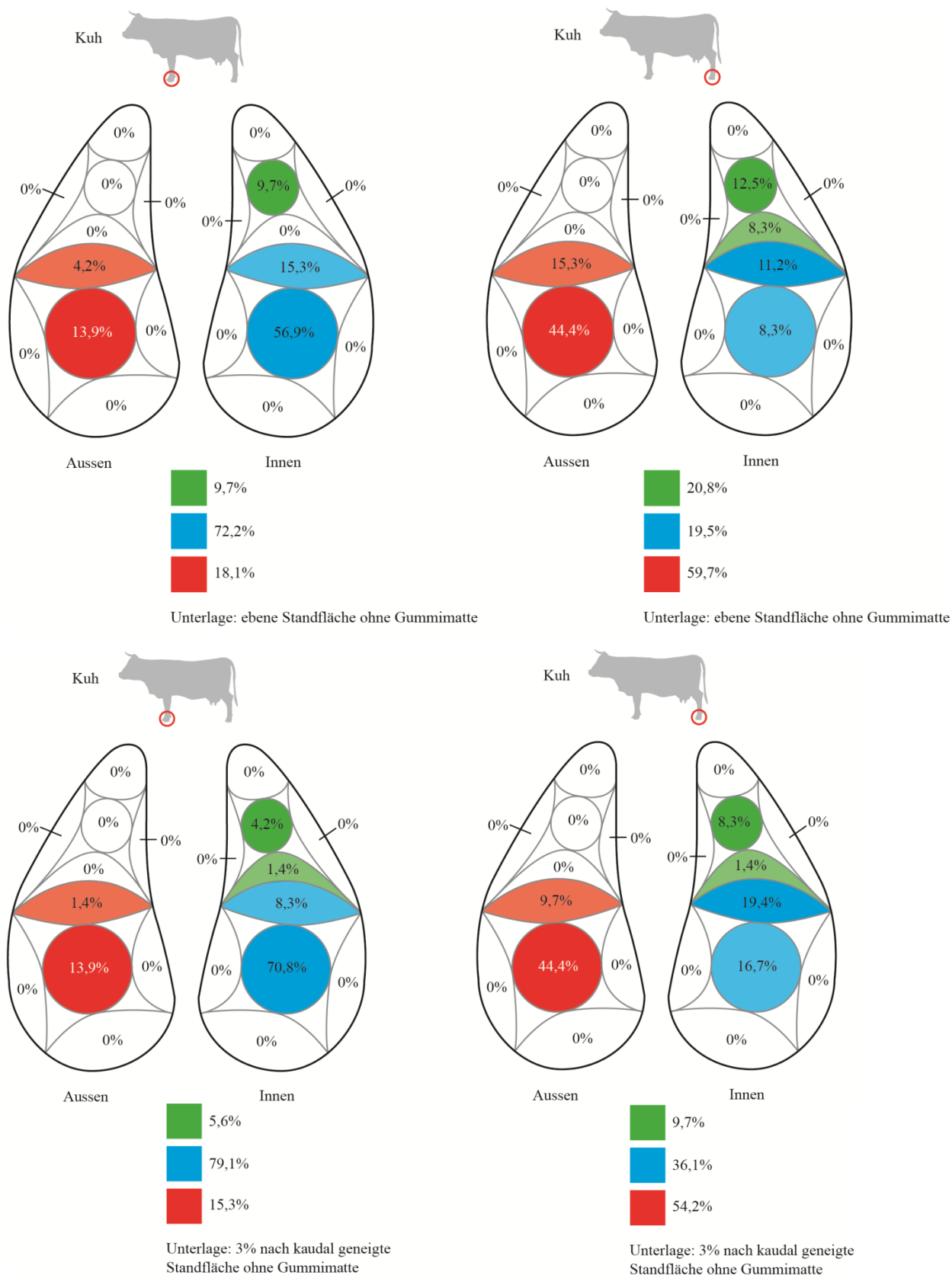


Abb. 27: Verteilung der Maximaldrücke unter den Klauen von zwölf Braunviehkühen bei ebener (oben) und um 3 % nach kaudal geneigter (unten) Standfläche

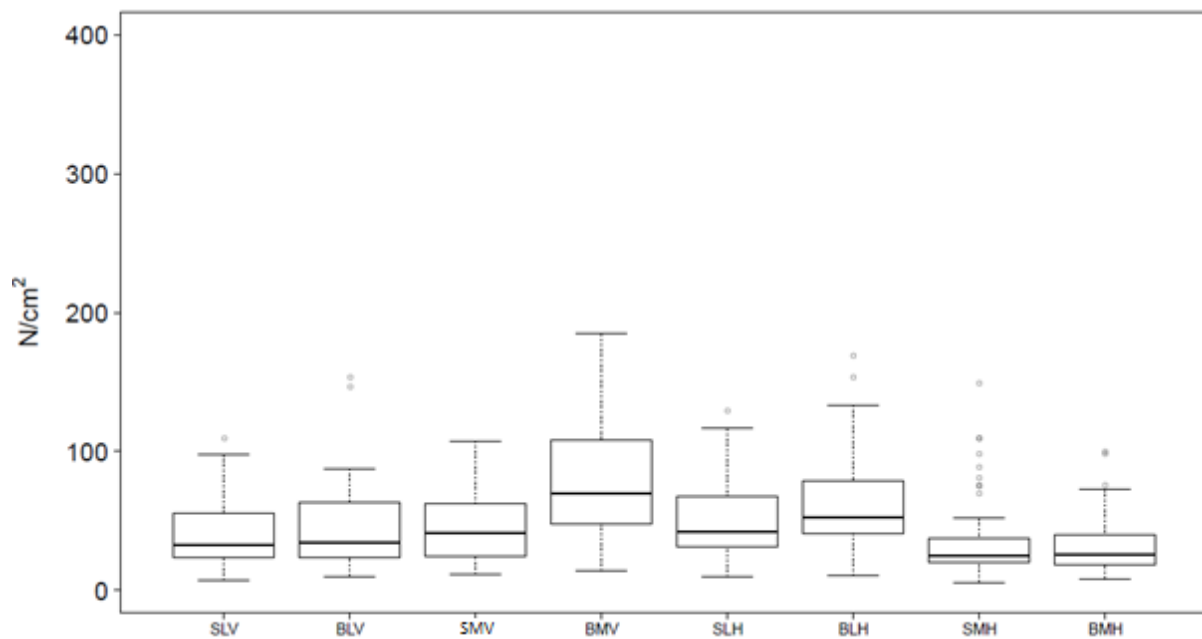


Abb. 28: Maximaler Druck je Zone unter der Gummimatte KURA FE bei zehn Braunvieh-Kühen; Legende siehe Abb. 11

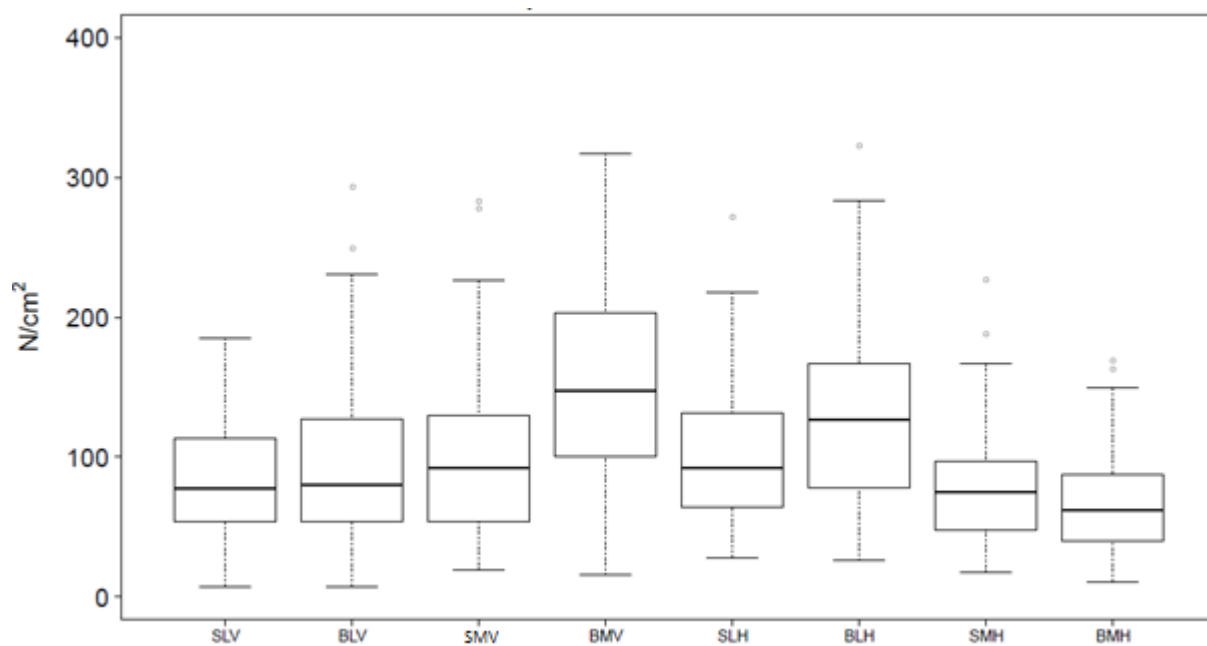


Abb. 29: Maximaler Druck je Zone unter der Gummimatte KURA F bei zwölf Braunvieh-Kühen; Legende siehe Abb. 11

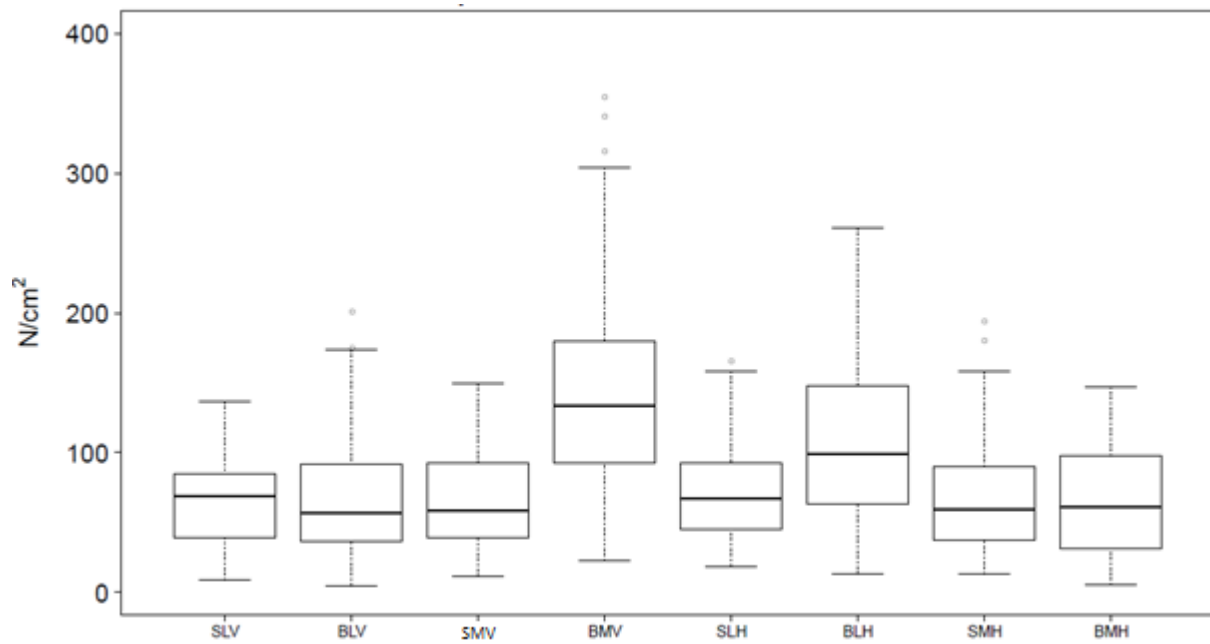


Abb. 30: Maximaler Druck je Zone bei ebener Standfläche ohne Gummimatte bei zwölf Braunvieh-Kühen; Legende siehe Abb. 11

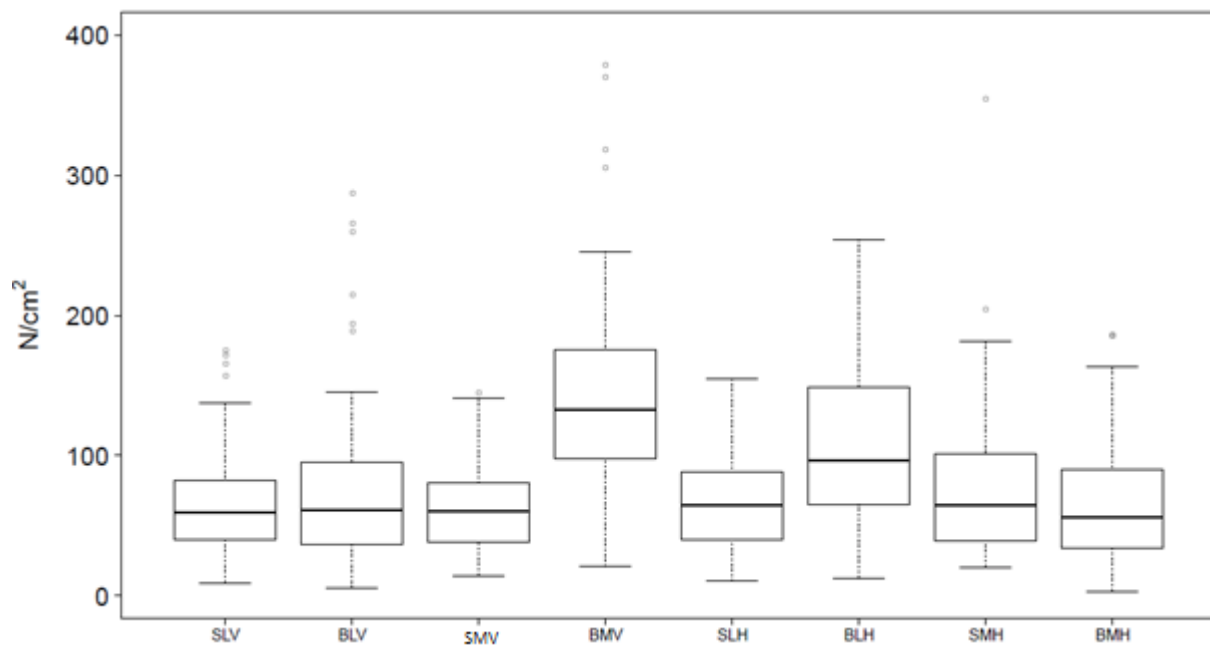


Abb. 31: Maximaler Druck je Zone bei 3 % nach kaudal geneigter Standfläche ohne Gummimatte bei zwölf Braunvieh-Kühen; Legende siehe Abb. 11



Tab. 8: Maximaler Druck unter den Klauen der Vorder- und Hintergliedmassen, aufgeteilt in Zonen bei Braunvieh-Kühen in den verschiedenen Messpositionen in N/cm<sup>2</sup>

Zone	KURA FE (n = 10)		KURA F (n = 12)		Ebene Standfläche ohne Gummimatte (n = 12)		3% nach kaudal geneigte Standfläche ohne Gummimatte (n = 12)		
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
Vorderglied-massen	Spitzenzone lateral	36.1 <sup>1</sup>	4.3	84.0 <sup>2</sup>	7.6	64.9 <sup>2</sup>	5.8	66.8 <sup>2</sup>	6.4
	Ballenzone lateral	34.7 <sup>1</sup>	4.3	90.8 <sup>2</sup>	7.6	63.4 <sup>2</sup>	5.8	64.9 <sup>2</sup>	6.4
	Spitzenzone medial	44.6 <sup>1</sup>	4.3	99.2 <sup>2</sup>	7.6	67.3	5.8	63.3	6.4
	Ballenzone medial	79.0 <sup>1</sup>	4.3	154.6 <sup>2</sup>	7.6	145.9 <sup>2</sup>	5.8	141.3 <sup>2</sup>	6.4
Hinterglied-massen	Spitzenzone lateral	47.9 <sup>1</sup>	4.3	103.2 <sup>2</sup>	7.6	72.7	5.8	69.0	6.4
	Ballenzone lateral	62.2 <sup>1</sup>	4.3	130.6 <sup>2</sup>	7.6	110.8 <sup>2</sup>	5.8	106.4 <sup>2</sup>	6.4
	Spitzenzone medial	35.4 <sup>1</sup>	4.3	79.2 <sup>2</sup>	7.6	68.4 <sup>2</sup>	5.8	77.3 <sup>2</sup>	6.4
	Ballenzone medial	22.3 <sup>1</sup>	4.3	66.7 <sup>2</sup>	7.6	54.3 <sup>2</sup>	5.8	61.0 <sup>2</sup>	6.4

<sup>1,2</sup>: verschiedene Indizes (<sup>1,2</sup>) bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den entsprechenden Zonen (P < 0.05 im Vergleich der Vertrauensintervalle)

## 7. Diskussion

### 7.1 Material und Methodik

Ein wichtiges Ziel der hier vorliegenden Untersuchung war, den Einfluss von Gummimatten auf die Druckbelastung der Klauen von Kühen zu bestimmen. Bisher waren Untersuchungen an Tieren durchgeführt worden, welche zwar auf Gummimatten gehalten wurden, während der Messungen allerdings nicht auf diesen standen (Telezhenko et al. 2008). Zusätzlich zu laktierenden Kühen wurden Rinder untersucht, da diese generell als klauengesund gelten (und dies auch waren) und somit in dieser Hinsicht als Referenzgruppe dienten. Weiterhin sollte untersucht werden, ob sich die Gummimatten bei noch nicht ausgewachsenen Tieren anders auf die Druckbelastung der Klauen auswirkten als bei Kühen.

Die Auswahl der **Kühe** erfolgte anhand des Alters und der Trächtigkeitsdauer von zwei bis fünf Monaten. Das Alter spielte eine Rolle, da in dieser Gruppe nur laktierende Tiere untersucht werden sollten. Tiere, die älter als sechs Jahre waren wurden nicht in die Untersuchungen miteinbezogen, da davon ausgegangen wurde, dass mit zunehmendem Alter auch vermehrt Klauenprobleme auftreten würden. Wichtig war die Trächtigkeitsdauer, weil so Tiere ausgeschlossen werden konnten, die sich im postpartalen Zeitraum befanden und eventuell deswegen vermehrt Klauenprobleme aufgewiesen hätten. Hochträchtige, trockenstehende Kühe wurden nicht in die Studie eingeschlossen, weil die Umstellung des Stoffwechsels und die hormonellen Veränderungen möglicherweise Auswirkungen auf die Klauenbelastung haben.

Die **Rinder** wurden so gewählt, dass sie noch nicht tragend waren und sich in einem Alter von etwa einem Jahr befanden.

Anamnestisch stammten die Tiere aus unterschiedlichen Haltungen, mit unterschiedlichen Bodenbelägen. In den Untersuchungen von Telezhenko et al. (2008) konnte gezeigt werden, dass die Beschaffung von Bodenoberflächen in den Haltungssystemen einen deutlichen Einfluss auf die Fläche sowie auf die Druckbelastung der Klauen hatte. In der vorliegenden Untersuchung konnte der Einfluss des Haltungssystems in den Heimatbetrieben der untersuchten Tiere auf die Messdaten grösstenteils ausgeschlossen werden, da bei jedem Tier vor den Messungen (am Vor- oder am Messtag selber) eine funktionelle Klauenpflege durchgeführt wurde und so mögliche Unterschiede in der Klauenform mehrheitlich ausgeglichen werden konnten. Unterschiede in der Klauenhornhärte und -hydratation konnten mehrheitlich behoben werden, indem die in die Untersuchungen einbezogenen Tiere während einiger Zeit am Tierspital und somit in derselben Haltungsumgebung aufgestellt wurden. Es ist bekannt, dass das Klauenhorn Feuchtigkeit sehr schnell aufnimmt, aber auch schnell wieder trocknet (Borderas et al. 2004). Mit der Änderung des Wassergehaltes des Klauenhornes ändert sich laut Borderas et al. (2004) auch die Klauenhornhärte.

Die Entscheidung, die Klauenabdrücke in der hier vorliegenden Untersuchung in zwei, statt wie in anderen Untersuchungen in fünf bis sechs Zonen einzuteilen, erfolgte aufgrund der unregelmässigen Formen der Abdrücke (Abb. 5), insbesondere bei Messungen auf den Gummimatten. Diese Klauenabdrücke erlaubten es nicht, stets eine Einteilung in die sechs Zonen nach Greenough und Weaver (1997) vorzunehmen. Oftmals war nur ein unvollständiger Klauenabdruck vorhanden, was eine detaillierte Zoneneinteilung verhinderte und sich auch auf die Gesamtfläche und Umriss der Klauenabdrücke auswirkte. Aufgrund dieser Ungleichheiten schien die Aufteilung in zwei Zonen pro Klaue zu besser auswertbaren Resultaten zu führen. Dies kann gegenüber früheren Untersuchungen (van der Tol et al. 2002 mit Einteilung in sechs Zonen, Carvalho et al. 2006 in fünf Zonen) als Rückschritt

angesehen werden. Die Aufteilung in zwei Zonen war jedoch für das Ziel, die Ballen- und Sohlenspitzenbelastung vergleichend zu untersuchen, geeignet.

Zwischen den einzelnen Messungen wurden die Tiere dazu gebracht, die Gliedmassen jeweils neu zu platzieren. Dies war aufgrund der Breite und Länge der Messplatte meist gut möglich. Dabei wurde nicht versucht, eine standardisierte Position der Gliedmassen zu erzwingen, sondern es wurden verschiedene Stellungen toleriert, sofern sich beide Gliedmassen auf der Messplatte befanden. Daher kam es zu Messsituationen, in denen die linke und die rechte Gliedmasse weit auseinander oder sehr nahe zusammen zu stehen kamen. Da solche Positionsunterschiede die Belastung der einzelnen Klauen beeinflussen können, wurde die Distanz zwischen den Schwerpunkten der linken und rechten Gliedmasse durch einen statistisch ermittelten Faktor in die Auswertung miteinbezogen. Die Distanz zwischen den Schwerpunkten hatte jedoch auf den mittleren Druck bei Kühen und Rindern sowie auf die Fläche der Klauenabdrücke bei Kühen einen signifikanten Einfluss: Mit zunehmender Distanz zeigten sich eine Vergrößerung der Klauenabdrücke und eine Verringerung des mittleren Druckes. Letzteres war auch bei Rindern der Fall. Diese Befunde können die Beobachtung erklären, warum Kühe, die längere Zeit keine Klauenpflege erhalten haben, die Hinterbeine bodenweit stellen: Sie versuchen vermutlich damit, das Gewicht von der Aussenklaue auf die Innenklaue zu verlagern (Nuss et al. 2014) und somit auf eine grössere Fläche gleichmässiger zu verteilen. Dadurch wird der mittlere Druck verringert. Die Stellung der Hintergliedmassen wird gelegentlich auch zur Beurteilung des Klauenpflegezustandes herangezogen indem weit auseinander gestellte Hinterbeine bzw. eine kuhhessige Stellung die Notwendigkeit einer Klauenpflege anzeigen (Lischer et al. 2014). Ergänzend dazu wird als ein Ziel der Klauenpflege eine gerade Stellung der Hintergliedmassen (Tuber ischiadicum, Calcaneus und Röhrbein senkrecht zur Klauenfussungsfläche) angestrebt, weil dadurch eine gleichmässige Hö-

he von Aussen- und Innenklaue angezeigt wird (Lischer et al. 2014). Diese Ansichten werden durch die Befunde der hier vorliegenden Arbeit unterstützt.

Das durchschnittliche Körpergewicht nach Wägung auf der Brückenwaage, unmittelbar vor der Durchführung der Messungen, stimmte bei den Rindern und bei den Kühen mit den Werten überein, welche die Kraftmessplatte gemessen hatte. So wurden bei den Rindern 348.4 kg bzw. 349.7 kg und bei den Kühen 641 kg bzw. 637.7 kg gemessen. Der geringe Unterschied zwischen den gemessenen und den gewogenen Werten kann durch die zeitversetzte Messung der Vorder- und Hintergliedmassen auf der Druck- und Kraftmessplatte, im Gegensatz zur Ermittlung des Gesamtgewichtes auf der Brückenwaage, erklärt werden, oder aber durch das Absetzen von Kot (vor oder während den Messungen).

## 7.2 Ergebnisse

Die **Gewichtsverteilung** zwischen Vorder- und Hintergliedmassen sowie innerhalb einer Gliedmasse zeigte sowohl bei Rindern als auch bei Kühen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Messpositionen. Auch die Belastung der Zonen änderte sich mit den unterschiedlichen Positionen und dem Stehen auf den Gummimatten nicht signifikant. Daher konnte die Hypothese, dass bei der Benützung von Gummimatten oder bei der Neigung der Standfläche die Ballenregion im Vergleich zu einer ebenen Standfläche ohne Gummimatte vermehrt belastet wird und es so möglicherweise deswegen auf Gummimatten vermehrt zu Sohlengeschwüren kommt, nicht bestätigt werden. Auffallend ist allerdings die tendenzielle ( $P = 0.33$ ) Mehrbelastung der medialen Klaue der Hintergliedmassen bei den Kühen auf 3 % nach kaudal geneigter Standfläche. Sollte diese tendenzielle Mehrbelastung der Innenklaue der Hintergliedmasse durch eine veränderte Gliedmassenstellung (z.B. Kuhhessigkeit) zustande gekommen sein, könnte dies allenfalls die Entwicklung von Rusterholzschon Sohlengeschwüren begünstigen, wie dies bei Lischer et al. (2014) beschrieben wurde, was in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wurde. Durch die so zu Stande gekommene Neigung der Glied-

masse nach medial soll die Innenseite der Aussenklaue (Rusterholzsche Stelle) vermehrt belastet werden (Lischer et al. 2014). Offen bleibt zudem, ob es allenfalls in der Fortbewegung, beispielsweise beim initialen Bodenkontakt einer Gliedmasse, auf Gummimatten zu einem vermehrten Einsinken der Ballenzone und somit zu deren Mehrbelastung kommt.

Zwischen den linken und rechten Gliedmassen konnten weder an den Schulter-, noch an den Beckengliedmassen signifikante Unterschiede gefunden werden. Deshalb konnten die berechneten Werte der linken und rechten Gliedmasse jeweils zusammengefasst werden. Interessant wäre zu beurteilen, wie sich die Belastungsverhältnisse unter einer Gliedmasse verändern, wenn eine Gliedmasse deutlich stärker belastet wird als die andere oder im Extremfall die kontralaterale Gliedmasse kein Gewicht trägt.

In der Literatur wurden Gewichtsverteilungen zwischen Vorder- und Hintergliedmassen von 62.2 % bzw. 48.6 % (van der Tol et al. 2004) und 54.27 % bzw. 45.73 % (Fessler 1986) bei laktierenden Kühen beschrieben. Auch in den eigenen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Vordergliedmassen mit durchschnittlich 54.1 % deutlich mehr belastet wurden als die Hintergliedmassen. Bei den Rindern fiel diese Mehrbelastung der Schultergliedmassen etwas grösser aus (55 %). Dieser Unterschied zwischen den Rindern und den Kühen kann dadurch erklärt werden, dass bei laktierenden Tieren das Gewicht der Milch hauptsächlich von den Hintergliedmassen getragen wird (Chapinal et al. 2009).

Die Gewichtsverteilung zwischen den Klauen der Vordergliedmassen bei den **Rindern** war ähnlich wie die, welche in der Literatur gefunden wurde (Alsleben et al. 2002, 2003), fiel allerdings weniger deutlich aus. So wurden in der hier vorliegenden Untersuchung die medialen Klauen mit durchschnittlich 56 % und die lateralen Klauen mit 44 % des Körpergewichtes, das auf die Vordergliedmassen wirkte, belastet. Alsleben et al. (2002) fanden bei 12 Monate alten Rindern einen deutlicheren Unterschied in der Gewichtsverteilung von 59 % auf die mediale und 41

% auf die laterale Klaue der Vordergliedmassen. Auch Huth et al. (2005) stellten bei zwölf bis 18 Monate alten deutschen Braunviehrindern eine relative Gewichtsbelastung von 58.1 % auf die mediale Klaue der Vordergliedmassen fest. An den Hintergliedmassen hingegen war der Belastungsunterschied zwischen Aussen- und Innenklaue in der eigenen Untersuchung mit 61 % und 39 % deutlich ausgeprägter als bei zwölf Monate alten (53 % lateral, Alsleben et al. (2002)) oder zwölf bis 18 Monate alten Rindern (52.8 % lateral; Huth et al. (2005)). Auch Ossent et al. (1987) fanden zwischen der lateralen und der medialen Klaue der Beckengliedmasse von trächtigen Färsen ausgeglichene Werte (47 %  $\pm$  8 % lateral). Im Gegensatz zu diesen Untersuchungen traten in der vorliegenden Untersuchung grosse Belastungsunterschiede zwischen Aussen- und Innenklauen der Schulter- und Beckengliedmassen bereits bei Rindern auf.

Bei den **Kühen** der hier vorliegenden Untersuchung hingegen war die Mehrbelastung der Aussenklaue (67 %) an den Hintergliedmassen zwar ausgeprägter als bei Telezhenko et al (2008, 56.1 %) stimmte aber mit den Ergebnissen von van der Tol et al. (2004; 70 % nach funktioneller Klauenpflege) sowie Kehler und Gerwing (2004, 68 %; vor funktioneller Klauenpflege) überein. Kehler und Gerwing (2004) fanden jedoch als einzige Autoren nach funktioneller Klauenpflege eine Gewichtsverteilung zwischen Innen- und Aussenklaue an den Beckengliedmassen von nahezu 50 % : 50 %. Der mögliche Einfluss der Gliedmassenstellung während der Messungen wurde nicht diskutiert. Van der Tol et al. (2004) beschrieben eine gleichmässiger Belastung von Innen- und Aussenklaue nach Klauenpflege, allerdings keinen vollständigen Ausgleich. Dabei wird in der genannten Untersuchung diskutiert, ob der vollständige Gewichtsausgleich wirklich dem physiologischen Zustand entspricht.

Neben dem Einfluss der funktionellen Klauenpflege auf die Gewichtsverteilung zwischen Aussen- und Innenklaue wurde bereits mehrfach deren Einfluss auf die Entwicklung von Rusterholzschen Sohlengeschwüren beschrieben (van der Tol et

al. 2004, Carvalho et al. 2006). Die Auswirkungen der Klauenpflege auf die Klauenbelastung wurden in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht, die funktionelle Klauenpflege diente lediglich dem Schaffen von einheitlichen Messbedingungen.

An den Vordergliedmassen der Kühe der hier vorliegenden Untersuchung fanden sich gegensätzliche Werte zu denen von 24 Monate alten Braunviehrindern (Alsleben et al. 2002). So wurden an den Schultergliedmassen der Kühe die medialen Klauen mit 64 % und die lateralen mit 36 % belastet, während bei den Rindern 59 % des Gewichtes auf der lateralen Klaue lasteten (Alsleben et al. 2002).

Van der Tol et al. (2003) massen die Belastung der Schultergliedmassen von Kühen in der Bewegung und konnten in der mittleren Stützbeinphase des Schrittes eine ausgeglichene Gewichtsverteilung zwischen lateraler und medialer Klaue (1644 N lateral, 1659.6 N medial) feststellen. Bei stehenden Kühen war hingegen in der hier vorliegenden Arbeit ein deutlicher Unterschied feststellbar. Dies kann damit erklärt werden, dass während der Messungen im Stand alle vier Gliedmassen belastet wurden. Im Gegensatz dazu wird in der Bewegung der Schwerpunkt während der Stützbeinphase in Richtung der belasteten Gliedmasse verschoben (Schmid et al. 2009), so dass es dadurch allenfalls zum Ausgleich der Gewichtsbelastung zwischen lateraler und medialer Klaue kommt. An den Hintergliedmassen wurde in der mittleren Stützbeinphase des Schrittes (van der Tol et al. 2003) eine Gewichtsverteilung von 70 % auf die laterale und 30 % auf die mediale Klaue gemessen. Daher scheint es an der Hintergliedmasse zu keinem Ausgleich der Klauenbelastung während der Bewegung zu kommen. Dies kann damit erklärt werden, dass die Hintergliedmasse in der Bewegung näher zur Mittellinie des Körpers und somit unter den Schwerpunkt gestellt wird (Schmid et al. 2009), wodurch die laterale Klaue möglicherweise stärker belastet wird. Sollte diese Annahme stimmen, müsste bei der gleichzeitigen und gleichmässigen Belastung beider Beckengliedmassen im Stand die Innenklaue relativ stärker belastet werden



und die Gewichtsverteilung zwischen Aussen- und Innenklaue ausgeglichener sein. Dagegen spricht allerdings, dass van der Tol et al. (2004) am stehenden Tier mit gleichmässiger Belastung aller vier Gliedmassen ebenfalls eine Gewichtsverteilung zwischen Aussen- und Innenklaue von 70 % zu 30 % feststellten. Diese Werte, sowie die Werte der hier vorliegenden Untersuchung können damit erklärt werden, dass die Zehenknochen der lateralen und medialen Klauen bereits einen signifikanten Längenunterschied aufweisen (Muggli 2007) und somit die laterale Klaue (auch bei ausgeglichener Klauenhornlänge der Aussen- und Innenklaue) stärker belastet wird.

Die vermehrte Gewichtsbelastung einer Klaue kann eine Erklärung dafür bieten, dass Klauenerkrankungen dort häufiger vorkommen. Allerdings kann die relative Gewichtsverteilung zwischen Innen- und Aussenklaue nicht allein für die Entstehung von Klauenerkrankungen verantwortlich sein, da nach der hier vorliegenden Untersuchung bereits bei den grundsätzlich als klauengesund geltenden Rindern ein erhebliches Ungleichgewicht zwischen den Klauen bestand.

Die berechneten **Flächen der Klauenabdrücke** bei den Kühen, welche auf einer Standfläche ohne Gummimatte gemessen wurden, entsprachen den Werten von älteren Rindern und Kühen aus anderen Untersuchungen (Alsleben et al. 2002, Telezhenko et al. 2008). Telezhenko et al. (2008) untersuchten die Klauen von Kühen, welche auf verschiedenen Böden mit unterschiedlichen Abriebeigenschaften gehalten wurden. In der hier vorliegenden Arbeit wurden Werte ermittelt, die am ehesten mit den Flächen der Klauenabdrücke von Kühen, welche auf Asphalt gehalten wurden (Telezhenko et al. 2008) übereinstimmten (Telezhenko et al. (2008) mediale Klaue der linken Hintergliedmasse: 14.7 cm<sup>2</sup>; eigene Arbeit, ebene Standfläche ohne Gummimatte: 14.6 cm<sup>2</sup>). Telezhenko et al. (2008) erklärten, dass es durch stärker abrasive Böden zu einer Zunahme der Kontaktfläche komme, da im Vergleich mit weniger abrasiven Böden die Sohlenfläche mehr, die Wand-

Zone dagegen weniger Kontakt aufwiesen. Da vor den Messungen der hier vorliegenden Untersuchung die Tiere jeweils einer funktionellen Klauenpflege unterzogen wurden und somit eine ebene Fläche aus Sohlen- und Wand-Zone geschaffen wurde, ist die Ähnlichkeit der eigenen Werte mit denjenigen von Telezhenko et al. (2008) erklärbar. Van der Tol et al. (2004) stellten bei Kühen nach Klauenpflege eine Gesamtkontaktfläche der Hintergliedmassen (laterale und mediale Klaue zusammen) von  $40 \text{ cm}^2$  fest. In der hier vorliegenden Arbeit konnten diese Ergebnisse bestätigt werden (ebene Standfläche ohne Gummimatte:  $40.9 \text{ cm}^2$ ). Direkte Messungen der Gesamtsohlenfläche ergaben allerdings deutlich höhere Werte, nämlich  $87 \text{ cm}^2$  für die Klauen der Beckengliedmassen von belegten Kalbinnen (Fessler 1980) sowie etwa  $80 \text{ cm}^2$  für diejenigen von Jungkühen (Paulus 2004). Dies kann dadurch erklärt werden, dass in der hier vorgelegten Untersuchung nur Teile der Sohlenfläche belastet wurden und somit ein unvollständiger Sohlenabdruck erzeugt wurde.

Die Klauenabdrücke, welche unter der Gummimatte KURA F gemessen wurden, wiesen bei allen Tieren signifikant grössere Flächen als bei den anderen Unterlagen auf. Dies kann damit erklärt werden, dass es durch die Weichheit und Verformbarkeit der Gummimatte zu einer Ausdehnung des Klauenabdruckes kam.

Zudem zeigten bei den Rindern die Abdrücke unter der Gummimatte KURA FE eine gut doppelt so grosse Fläche wie in der Literatur für Messungen ohne Gummimatte beschrieben (Alsleben et al. 2002, Huth et al. 2005). Im Gegensatz zu den Rindern wiesen die Flächen der Klauenabdrücke von Kühen unter der Gummimatte KURA FE keine deutlichen Unterschiede zu denjenigen Flächen auf, welche an den Abdrücken der Messungen ohne Gummimatten berechnet wurden. Eine mögliche Erklärung dafür könnte das höhere Gewicht der Kühe im Vergleich zu den Rindern sein. Durch die grössere Kraft, welche auf die Gummimatte wirkte, könnte es sein, dass der Klauenabdruck präziser abgebildet wurde als bei einem geringeren Körpergewicht.

Insgesamt war die Fläche der Klauenabdrücke in jeder Messposition bei den Rindern, im Gegensatz zu den Kühen, signifikant vom Körpergewicht abhängig. Sowohl bei den Kühen als auch bei den Rindern unterschieden sich das niedrigste und das höchste Körpergewicht der untersuchten Tiere um ca. 200 kg. Dass das Körpergewicht bei den Rindern einen signifikanten Einfluss auf die Fläche der Klauenabdrücke hatte, kann dadurch erklärt werden, dass bei stark wachsenden Tieren eine Zunahme des Körpergewichtes auch eine Zunahme der Körper- und somit der Klauengrösse mit sich zieht.

In Abhängigkeit von den Flächen waren die **mittleren Drücke** über die gesamte Klaue unter der Gummimatte KURA F, sowohl bei den Kühen als auch bei den Rindern, am geringsten. Das Gewicht wurde auf dieser Gummimatte auf eine grössere Fläche verteilt, was die Vorliebe für Gummimatten (Telezhenko et al. 2007, Platz et al. 2008), bzw. das seltenere Auftreten von Lahmheiten trotz des Vorhandenseins von Rusterholzschen Sohlengeschwüren auf Gummimatten bei Kühen (Kremer 2006) erklären könnte. Da die grösste Kraft an den Vordergliedmassen auf die medialen Klauen wirkte, war auch an der medialen Klaue der mittlere Druck jeweils am höchsten. Bei den Kühen konnten die höchsten gemessenen mittleren Drücke an Vorder- und Hintergliedmassen in den Ballenregionen lokalisiert werden. Dieser höchste mittlere Druck zeigte an, dass die Ballenregion der medialen Klauen der Vorder- und der lateralen Klauen der Hintergliedmassen einer erhöhten Belastung ausgesetzt waren, was die Prädisposition für Erkrankungen in diesen Bereichen (Vermunt und Greenough 1996) erklären könnte. Es wird beschrieben, dass an den Vordergliedmassen (wie auch an den Hintergliedmassen) die lateralen Zehenknochen insgesamt länger sind (Muggli et al. 2011). Daher wäre zu erwarten, dass auch an den Vordergliedmassen die Aussenklauen - wie an den Hintergliedmassen - einem höheren Druck ausgesetzt sind. Eine mögliche Erklärung für den Unterschied zwischen Hinter- und Vordergliedmassen bietet die

relativ starre Verbindung zwischen Hintergliedmassen und Becken im Vergleich zur relativ weichen Aufhängung der Vordergliedmassen. Die elastische Aufhängung und die bodenenge Stellung (Distanz zwischen den Schwerpunkten an den Vordergliedmassen ca. 25.7 cm, an den Hintergliedmassen ca. 31.2 cm) könnten die Ursachen für die stärkere Belastung der Innenklauen an den Schultergliedmassen sein.

Die mittleren Drücke, welche auf ebener Standfläche ohne Gummimatte gefunden wurden (Schultergliedmassen: durchschnittlich  $35.5 \text{ N/cm}^2$ , maximal  $54.7 \text{ N/cm}^2$ ; Beckengliedmassen: durchschnittlich  $31.6 \text{ N/cm}^2$ , maximal  $40 \text{ N/cm}^2$ ), zeigten deutlich geringere Werte, als von Van der Tol et al. ((2004) Vordergliedmassen  $60 \text{ N/cm}^2$ , Hintergliedmassen  $50 \text{ N/cm}^2$ ) beschrieben. Allerdings wiesen die Kühe, welche Van der Tol et al. (2004) für ihre Messungen verwendeten, auch ein deutlich grösseres durchschnittliches Körpergewicht auf ( $704 \pm 136 \text{ kg}$ ), als die Tiere in der hier vorliegenden Arbeit (durchschnittlich  $641 \text{ kg}$  (Max.  $748 \text{ kg}$ , Min.  $550 \text{ kg}$ )).

Unter der Gummimatte KURA F wurden bei den Rindern die höchsten mittleren Drücke an den Hintergliedmassen in den Sohlenspitzenregionen der lateralen Klauen gefunden, was bei den Kühen nicht festgestellt werden konnte. Eine mögliche Begründung dafür könnte sein, dass die deutlich schwereren Kühe eine verhältnismässig kleine Sohlenfläche aufweisen (Gewichtszunahme Rind zu Kuh + 83 %, Sohlenfläche + 66 % im Vergleich mit Alsleben et al. 2002). Als Folge davon wurden die Matten durch die (relativ) kleineren Klauen der Kühe insgesamt stärker durchgedrückt und verursachten einen deutlicheren Abdruck der gesamten Klaue auf der Messplatte. Bei den Rindern mit dem leichteren Körpergewicht hingegen wurde die gemessene Klauenfläche allenfalls nicht gleichmässig durch die Weichheit der Gummimatte vergrössert. Die Kraft wirkte somit auf eine relativ kleinere Fläche im Bereich der Klauenspitze was zu einem höheren mittleren Druck führte.

Bei den Rindern zeigten die mittleren Drücke bei den Messungen unter der Gummimatte KURA FE entsprechend dem oben beschriebenen Flächenvergleich (gut doppelt so grosse Fläche) ca. halb so grosse Werte wie bei Messungen ohne Gummimatte (Alsleben et al. 2002). Durch die Weichheit der Gummimatte wurde so das Körpergewicht auf eine grössere Fläche verteilt, was den Druck unter den Klauen verringerte. Bei den Kühen unterschieden sich die mittleren Drücke unter der Gummimatte KURA FE nicht signifikant von denjenigen, welche bei Messungen ohne Gummimatte gefunden wurden. Dies hängt mit der Fläche der Klauenabdrücke zusammen, welche auf dieser Gummimatte ebenfalls zu ähnlichen Werten führte wie bei den Messungen ohne Gummimatte.

Das Verhältnis der Gesamtfläche der lateralen und medialen Klauenabdrücke war umgekehrt proportional zu den mittleren Drücken. Hinsichtlich der Zonen wiesen jedoch diejenigen mit den grössten Flächen auch die grössten mittleren Drücke auf. Dies könnte die Annahme bestätigen, dass im Vergleich der Rinder zu den Kühen die Sohlenfläche durch die Mehrbelastung der jeweiligen Klaue zunimmt (Ossent et al. 1987; Alsleben et al. 2002).

In der Literatur wird beschrieben, dass der **maximale Druck** zwei bis drei Mal grösser ist als der mittlere Druck (Van der Tol et al. 2003, 2004). Bei den Kühen der hier vorliegenden Untersuchung konnte bei den Messungen ohne Gummimatte (maximaler Druck durchschnittlich 2.4mal grösser als der mittlere) ein ähnliches Verhältnis gefunden werden. Bei den Messungen, die unter der Gummimatte KURA F durchgeführt wurden, zeigte sich der maximale Druck bei Rindern und Kühen ca. zehn (10.2 bzw. 10) Mal grösser als der mittlere. Dies kann durch den niedrigen mittleren Druck infolge der starken Vergrösserung der Klauenabdrücke, bedingt durch die Weichheit der Gummimatte, sowie durch die Konzentration der Gewichtskraft auf den Noppenspitzen erklärt werden. Unter der Gummimatte KURA FE war der maximale Druck bei den Rindern lediglich um den Faktor 1.6

und bei den Kühen um den Faktor 1.4 höher als der mittlere Druck, was auf eine gleichmässige Druckverteilung innerhalb der Klauen durch die Verwendung dieser Gummimatte deutete.

Im Gegensatz zum mittleren Druck war der maximale Druck von der Verteilung des Druckes innerhalb der Klaue und nicht von der belasteten Fläche abhängig. Dies zeigte sich im Vergleich der maximalen Drücke bei Kühen unter der Gummimatte KURA FE mit den Messungen ohne Gummimatte. Unter der Gummimatte KURA FE fielen die maximalen Drücke in den Zonen, in denen in allen Messpositionen die höchsten maximalen Drücke gefunden wurden (Ballenzone der medialen Klauen der Vorder- und der lateralen Klauen der Hintergliedmassen), signifikant geringer aus. Dies weist erneut darauf hin, dass die Last, welche auf die Klauen wirkte, durch die Gummimatte KURA FE gleichmässiger über die gesamte Fläche des Klauenabdruckes verteilt wurde. Die Drücke waren weniger auf eine bestimmte Stelle konzentriert, wie dies auch durch das Verhältnis zwischen mittlerem und maximalem Druck schon ersichtlich war. Aus diesem Grund kann die Gummimatte KURA FE durch die Minimierung der maximalen Drücke möglicherweise der Entstehung von druckbedingten Klauenläsionen entgegen wirken.

Die Lokalisation der maximalen Drücke bei den Kühen änderte sich an den Hintergliedmassen analog zu der Gewichtsverteilung: beim Vergleich von ebener Standfläche ohne Gummimatte mit 3 % nach kaudal geneigter Standfläche waren die maximalen Drücke zunehmend in der Ballenregion der Innenklauen lokalisiert. Bei den Rindern wurden unter der Gummimatte KURA F signifikant höhere maximale Drücke gemessen als unter der Gummimatte KURA FE. Ein Grund dafür ist die Noppenstruktur an der Unterseite der Gummimatte KURA F: Es kam so zu einer Summierung der Drücke auf den relativ kleinen Bereich der Noppenspitze, die unter der Gummimatte gemessenen Werte sind daher nicht repräsentativ für die tatsächlich auf die Klaue wirkenden maximalen Drücke.

Bei den Kühen wurden die maximalen Drücke auf einen grösseren Bereich verteilt als bei den Rindern, da bei den Kühen mit ihrem höheren Gewicht teilweise die ganze Matte durchgedrückt wurde und es so auch zwischen den Noppenspitzen zu Berührungen mit der Druckmessplatte kam. Daher zeigten sich auf der weichen Gummimatte KURA F die maximalen Drücke bei den Kühen ähnlich hohe Werte wie diejenigen, die bei den Messungen ohne Gummimatten erzielt wurden. Wenn aber bei den Kühen die ganze Gummimatte KURA F gegen die Messplatte durchgedrückt wird – also zwischen den Noppen als auch über die gesamte Noppenhöhe – stellt sich die Frage, ob die Noppen an der Oberfläche der Gummimatte durch Vorwölbungen punktuell einen stärkeren Druck auf die Klauen ausüben.

Laut Vanegas et al. (2006) waren klinische Lahmheiten auf Gummimatten seltener und es wurden in ihren Untersuchungen keine Unterschiede im Auftreten von Klauenhornläsionen im Vergleich zu Bodenbelägen ohne Gummimatten gefunden. In den genannten Untersuchungen wurden Gummimatten verwendet, welche keine Noppenstruktur auf der Unterseite aufwiesen. Kremer et al. (2007) hingegen fanden ein häufigeres Auftreten von Sohlengeschwüren bei Kühen welche auf Gummimatten gehalten wurden. In ihren Untersuchungen wurde die Gummimatte KURA S (KRAIBURG Elastik GmbH, Tittmoning, Deutschland) verwendet, welche auf der Unterseite, ähnlich der Gummimatte KURA F, eine Noppenstruktur aufwies. Dies unterstützt die Annahme, dass die Noppenstruktur bei schweren Kühen an die Gummimattenoberfläche durchdrückt. In diesem Fall würden denjenigen Zonen, welche der höchsten Belastung ausgesetzt sind, punktuell höhere Drücke zugeschrieben. Dadurch könnte die Entstehung von Sohlengeschwüren auf Gummimatten mit Noppenstruktur auf der Unterseite erklärt werden. Es müsste demnach überdacht werden, ob genoppte Gummimatten für schwere Tiere, wie adulte Kühe, geeignet sind, oder ob bei diesen eher auf die Verwendung von Gummimatten mit Noppen auf der Unterseite verzichtet werden sollte. Um jedoch diese Aussage zu bestätigen, müssten weitere Untersuchungen, allenfalls mit ei-

nem Messsystem, das zwischen Klauen und Gummimatte angebracht werden kann (Franck und De Belie 2006), durchgeführt werden.

### **7.3 Ausblicke**

Zusätzlich zu den genannten Untersuchungen wurde eine tierspital-eigene Kuh ab dem vierten Trächtigkeitsmonat einmal monatlich auf der Druckmessplatte gemessen. Wie bereits in der Literatur beschrieben (Graham 1988, Chapinal et al. 2009) änderte sich die relative Gewichtsverteilung zwischen Vorder- und Hintergliedmassen während der gesamten Trächtigkeit kaum, obwohl es zu einer deutlichen Gewichtszunahme, zum Teil bedingt durch das Wachstum der Frucht, kam. Allerdings konnte eine minime Umverteilung des Schwerpunktes gegen Ende der Trächtigkeit in Richtung Hintergliedmassen festgestellt werden (im vierten Trächtigkeitsmonat 44.3 % und kurz vor der Geburt 46.5 %), wie dies auch bereits durch Fessler et al. ((1968) über 40 Wochen tragende Kühe zwischen 46.39 % und 47.69 %) beschrieben wurde. Unmittelbar post partum konnte eine stärkere Umverteilung festgestellt werden, so dass die Hintergliedmassen deutlich mehr Gewicht trugen als vor der Geburt (48.5 %; Anhang 3, Anhang 4, Anhang 5). Dies deutet darauf hin, dass bei laktierenden Tieren mehr Gewicht auf den Hintergliedmassen lastet, was mit den Befunden von Chapinal et al. ((2009) nach der Kalbung werden 48 % des Körpergewichtes von den Hintergliedmassen getragen) übereinstimmt und in der genannten Untersuchung durch das Gewicht der Milch erklärt wird. Um diese Tendenz der Gewichtsverteilung vor und nach der Kalbung zu bestätigen und für weitere Daten, vor allem in Bezug auf die Druckverteilung müssten zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden.

### **7.4 Schlussfolgerungen**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, Normalwerte der Kraft- und Druckverteilung unter den Klauen von Rindern und Kühen während des Stehens auf unterschiedlichen Standflächen zu erheben. Es wurde angenommen, dass die Belastung



der Klauen durch die verschiedenen Oberflächen und Neigungswinkel beeinflusst wird. Durch die Gummimatten wurden der mittlere (KURA F) und der maximale Druck (KURA FE) im Vergleich zu den gemessenen Drücken auf ebener Standfläche ohne Gummimatte signifikant reduziert. Dennoch konnten in der vorliegenden Arbeit Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Gummimatten und der Entstehung von Sohlengeschwüren gefunden werden, da angenommen wird, dass die Noppenstruktur an der Oberfläche der Gummimatte KURA F durch Vorwölbung punktuell hohe Drücke auf die Klauen bewirkt.

Die Hypothese, dass die Ballenzonen bei der Benützung von Gummimatten und bei geneigter Standfläche vermehrt belastet werden, konnte nicht bestätigt werden. Allerdings waren an den Hintergliedmassen auf 3 % nach kaudal geneigter Standfläche die maximalen Drücke im Vergleich mit den maximalen Drücken bei ebener Standfläche ohne Gummimatte häufiger an den Innenklauen lokalisiert.

Die Untersuchungen an den als klauengesund geltenden Rindern zeigten grundsätzlich analoge Werte zu den Kühen, wobei bereits auf der Gummimatte KURA FE eine deutliche Reduktion des mittleren Druckes auf die Klauen sichtbar war.

## 8. Literaturverzeichnis

ALSLEBEN, B., RUSSKE, A., WREDE, J., HAMANN, H., DISTL, O., 2002, Messung der Druckverteilung unter den Klauen bei Rindern der Rasse Deutsches Braunvieh in den ersten zwei Lebensjahren. *Tierärztliche Umschau* 57, 657-666.

ALSLEBEN, B., RUSSKE, A., WREDE, J., HAMANN, H., DISTL, O., 2003, Messung der Druckverteilung unter den Klauen bei Rindern der Rasse Deutsche Holsteins in den ersten zwei Lebensjahren. *Praktische Tierarzt* 84, 232-240.

ART. 34 der schweizerischen Tierschutzverordnung vom 23.4.2008, Böden.

BECKER, J., STEINER, A., KOLLER-BÄHLER, A., WÜTRICH, M., REIST, M., 2014, Lameness and foot lesions in Swiss dairy cows: 1. Prevalence. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 156, 71-78.

BERGSTEN, C., HERLIN, A.H., 1996, Sole haemorrhages and heel horn erosion in dairy cows: The influence of housing system on their prevalence and severity. *Acta Veterinaria Scandinavica* 37, 395-408.

BICALLHO, R.C., MACHADO, V.S., CAIXETA, L.S., 2009, Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion. *Journal of Dairy Science* 92, 3175-3184.

BORDERAS, T.F., PAWLUCZUK, B., DE PASSILLÉ, A.M., RUSHEN, J., 2004, Claw Hardness of Dairy Cows: Relationship to Water Content and Claw Lesions. *Journal of Dairy Science* 87, 1085-2093.

CARVALHO, V., NÄÄS, I.A., BUCKLIN, J.K., SHEARER, L., MASSAFERA, V., SOUZA, S.R.L., 2006, Effects of trimming on dairy cattle hoof weight bearing surfaces and pressure distributions, *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 43; 518-525.

CHANG, W.R., GRONQVIST, R., LECLERCQ, S., MYUNG, R., MAKKONEN, L., STRANDBERG, L., BRUNGRABER, R.J., MATTKE, U., THORPE, S.C., 2001b, The role of friction in the measurement of slipperiness, Part 1: Friction mechanisms and definition of test conditions. *Ergonomics* 44, 1217-1232.

CHANG, W.R., GRONQVIST, R., LECLERCQ, S., BRUNGRABER, R.J., MATTKE, U., STRANDBERG, L., Thorpe, S.C., MYUNG, R., MAKKONEN, L., COURTNEY, T.K., 2001a, The role of friction in the measurement of slipperiness, Part 2: Survey of friction measurement devices. *Ergonomics* 44, 1233-1261.

CHAPINAL, N., DE PASSILLÉ, A. M., RUSHEN, J., 2009, Weight distribution and gait in dairy cattle are affected by milking and late pregnancy. *Journal of Dairy Science* 92, 581-588.

CHAPINAL, N., TUCKER, C.B., 2012, Validation of an automated method to count steps while cows stand on a weighing platform and its application as a measure to detect lameness. *Journal of Dairy Science* 95, 6523-6528.

COOK, N.B., 2003, Prevalence of lameness among dairy cattle in Wisconsin as a function of housing type and stall surface. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 223, 1324-1328.

CRAMER, G., LISSEMORE, K.D., GUARD, C.L., LESLIE, K.E., KELTON, D.F., 2008, Herd- and cow-level prevalence of foot lesions in Ontario dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 91, 3888-3895.

FESSL, L., 1980, Die Normalklaue des Oesterreichischen Fleckvierindes - Größen- und Formbestimmung und deren Bedeutung für Klauenerkrankungen und Stallbau. In *Veterinärorthopädie*. Wien, Veterinärmedizinische Universität.

FESSL, L., 1968, Biometrische Untersuchungen der Bodenfläche der Rinderklauen und die Belastungsverteilung auf die Extremitätenpaare. *Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe A* 15, 777-864.

FJELDAAS, T., SOGSTAD, A.M., OSTERAS, O., 2011, Locomotion and claw disorders in Norwegian dairy cows housed in freestalls with slatted concrete, solid concrete, or solid rubber flooring in the alleys. *Journal of Dairy Science* 94, 1243-1255.

FLOWER, F.C., DE PASSILLE, A.M., WEARY, D.M., Sanderson, D.J., Rushen, J., 2007, Softer, Higher-Friction Flooring Improves Gait of Cows With and Without Sole Ulcers. *Journal of Dairy Science* 90, 1235-1242.

FRANCK, A., DE BELIE, N., 2006, Concrete floor-bovine claw contact pressures related to floor roughness and deformation of the claw. *Journal of Dairy Science* 89, 2952-2964.

GHOTOORLAR, S.M., GHAMSARI, S.M., NOWROUZIAN, I., GHIDARY, S.S., 2011, Lameness scoring system for dairy cows using force plates and artificial intelligence. *Veterinary Record* 170, 126.

GREGORY, N.G., TAYLOR, O.D., 2002, Dairy cow preference for a soft track surface. *New Zealand Veterinary Journal* 50, 83-83.

GRAHAM, B. S., 1988, Lameness and pregnancy in Friesian dairy cows, *British Veterinary Journal* 144, 273-281.

HAUFE, H.C., GYGAX, L., WECHSLER, B., STAUFFACHER, M., FRIEDLI, K., 2012, Influence of floor surface and access to pasture on claw health in dairy cows kept in cubicle housing systems. *Preventive Veterinary Medicine* 105, 85-92.

HERNANDEZ, J., SHEARER, J.K., WEBB, D.W., 2002, Effect of lameness on milk yield in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 220, 640-644.

HINTERHOFER, C., FERGUSON, J.C., APPRICH, V., HAIDER, H., STANEK, C., 2005, A finite element model of the bovine claw under static load for evaluation of different flooring conditions. *New Zealand Veterinary Journal* 53, 165-170.

HINTERHOFER, C., FERGUSON, J.C., APPRICH, V., HAIDER, H., STANEK, C., 2006, Slatted floors and solid floors: stress and strain on the bovine hoof capsule analyzed in finite element analysis. *Journal of Dairy Science* 89, 155-162.

HUTH, C., RUSSKE, A., ALSLEBEN, B., HAMANN, H., DISTL, O., 2005, Körper- und Klauenmasse sowie Druckverteilung unter den Klauen bei Färsen verschiedener Rinderrassen. *Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift* 118, 150-159.

KEHLER, W. and T. GERWING, 2004, Effects of functional claw trimming on pressure distribution under hind claws of German Holsteincows. *Proc. 13th Int. Symp. Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia*. B. Zemljic, Maribor, Slovenia, 103-104.

KREMER, P., 2006, Vergleich von Klauengesundheit, Milchleistung und Aktivität bei Kühen auf Betonspaltenboden und auf Spaltenboden mit elastischen Auflagen, Inaugural-Dissertation, Tierärztliche Fakultät der Maximilians-Universität, München.

KREMER, P.V., NUESKE, S., SCHOLZ, A.M., FOERSTER, M., 2007, Comparison of claw health and milk yield in dairy cows on elastic or concrete flooring. *Journal of Dairy Science* 90, 4603-4611.

LEONARD, F.C., OCONELL, J., OFARRELLI, K., 1994, Effect of Different Housing Conditions on Behavior and Foot Lesions in Friesian Heifers. *Veterinary Record* 134, 490-494.

LISCHER, C., STEINER, A., GEYER, H., FRIEDLI, K., OSSENT, P., NUSS, K. 2014, *Klauenpflege. Handbuch zur Klauenpflege beim Rind*. Edition Imz.

LIU, J., DYER, R.M., NEERCHAL, N.K., TASCH, U., RAJKONDAWAR, P.G., 2011, Diversity in the magnitude of hind limb unloading occurs with similar forms of lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 1-10.

MAIR, A., DIEBSCHLAG, W., DISTL, O., KRAUSSLICH, H., 1988, Measuring device for the analysis of pressure distribution on the foot soles of cattle. *Zentralblatt für Veterinärmedizin A* 35, 696-704.

MEYER, S.W., WEISHAUPT, M.A., NUSS, K.A., 2007, Gait pattern of heifers before and after claw trimming: A high-speed cinematographic study on a treadmill. *Journal of Dairy Science* 90, 670-676.

MUGGLI, E., SAUTER-LOUIS, C., BRAUN, U., NUSS, K., 2011, Length asymmetry of the bovine digits. *Veterinary Journal* 188, 295-300.

MUGGLI, E., 2007, *Längen- und Breitenunterschiede zwischen medialer und lateraler Zehe bei Rindern verschiedenen Alters. Röntgenologische Messungen*. Inaugural-Dissertation. Departement für Nutztiere, Klinik für Wiederkäuer, Vetsuisse-Fakultät Zürich.

MURRAY, R.D., DOWNHAM, D.Y., CLARKSON, M.J., FAULL, W.B., HUGHES, J.W., MANSON, F.J., MERRITT, J.B., RUSSELLI, W.B., SUTHERST, J.E., WARD, W.R., 1996, Epidemiology of lameness in dairy cattle: Description and analysis of foot lesions. *Veterinary Record* 138, 586-591.

NACAMBO, S., HÄSSIG, M., LISCHER, C., NUSS, K., 2007, Difference in the length of the medial and lateral metacarpal and metatarsal condyles in calves and cows--a post-mortem study. *Anatomia Histologia and Embryologia* 36, 408-412.

NEVEUX, S., WEARY, D.M., RUSHEN, J., VON KEYSERLINGK, M.A., de PASSILLE, A.M., 2006, Hoof discomfort changes how dairy cattle distribute their body weight. *Journal of Dairy Science* 89, 2503-2509.

OSSENT, P., PETERSE, D.J., SCHAMHARDT, H.C., 1987, Distribution of Load between the Lateral and Medial Hoof of the Bovine Hindlimb. *Zentralblatt für Veterinärmedizin A* 34, 296-300.

PAULUS, N., 2004, Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Beckengliedmassen von Fleckviehrindern. Departement für Nutztiere, Vetsuisse-Fakultät. Zürich, Universität Zürich.

PHILLIPS, C.J.C., MORRIS, I.D., 2001, The locomotion of dairy cows on floor surfaces with different frictional properties. *Journal of Dairy Science* 84, 623-628.

PINHEIRO, J., DOUGLAS, B., SAIKAT, D., DEEPAYAN, S. and the R Development Core Team, 2013, nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-111.

PLATZ, S., AHRENS, F., BENDEL, J., MEYER, H.H.D., ERHARD, M.H., 2008, What happens with cow behavior when replacing concrete slatted floor by rubber coating: A case study. *Journal of Dairy Science* 91, 999-1004.

R Core Team, 2013, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org/>.

RÄBER, M., LISCHER, C., GEYER, H., OSSENT, P., 2004, The bovine digital cushion - a descriptive anatomical study. *Veterinary Journal* 167, 258-264.

REUBOLD, H. 2004. KRAIBURG Laufflächenbelag für Rinder Typ KURA P, DLG, ed.

REUBOLD, H., 2008. Entwicklung geeigneter Parameter zur Beurteilung von elastischen Laufgangauflagen in Liegeboxenlaufställen für Milchkühe. Justus-Liebig Universität, Giessen.

RUSHEN, J., DE PASSILLE, A.M., 2006, Effects of roughness and compressibility of flooring on cow locomotion. *Journal of Dairy Science* 89, 2965-2972.

SALOMON, F., GEYER, H., GILLE, U. 2005. Anatomie für die Tiermedizin (Enke), pp. 667 - 671.

SCHMID, T., WEISHAUPT, M.A., MEYER, S.W., WALDERN, N., VON PEINEN, K., NUSS, K., 2009, High-speed cinematographic evaluation of claw-ground contact pattern of lactating cows. *Veterinary Journal* 181, 151-157.

SCHWARZMANN, B., KOSTLIN, R., NUSS, K., 2007, Difference in the dimensions of the digital bones and claws in calves. *Tierärztliche Praxis Ausgabe Gross-tiere Nutztiere* 35, 341-349.

SOGSTAD, A.M., FJELDAAS, T., OSTERAS, O., FORSHELL, K.P., 2005, Prevalence of claw lesions in Norwegian dairy cattle housed in tie stalls and free stalls. *Preventive Veterinary Medicine* 70, 191-209.

STEINER, B. 2007. Sanierung von Beton-Laufflächen - Entwicklung und Bewertung von neuen Verfahren .Tänikon, ART-Berichte.

TELEZHENKO, E., BERGSTEN, C., MAGNUSSON, M., VENTORP, M., NILSSON, C., 2008, Effect of different flooring systems on weight and pressure distribution on claws of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91, 1874-1884.

TELEZHENKO, E., LIDFORS, L., BERGSTEN, C., 2007, Dairy cow preferences for soft or hard flooring when standing or walking. *Journal of Dairy Science* 90, 3716-3724.

THOMSEN, P.T., DAHL-PEDERSEN, K., JENSEN, H.E., 2012, Necropsy as a means to gain additional information about causes of dairy cow deaths. *Journal of Dairy Science* 95, 5798-5803.

TUCKER, C.B., WEARY, D.M., DE PASSILLE, A.M., CAMPBELL, B., RUSHEN, J., 2006, Flooring in front of the feed bunk affects feeding behavior and use of freestalls by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89, 2065-2071.

VAN DER TOL, P.P., METZ, J.H., NOORDHUIZEN-STRASSEN, E.N., BACK, W., BRAAM, C.R., WEIJS, W.A., 2002, The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate. *Journal of Dairy Science* 85, 1476-1481.

VAN DER TOL, P.P.J., METZ, J.H.M., NOORDHUIZEN-STRASSEN, E.N., BACK, W., BRAAM, C.R., WEIJS, W.A., 2003, The vertical ground reaction force and the pressure distribution on the claws of dairy cows while walking on a flat substrate. *Journal of Dairy Science* 86, 2875-2883.

VAN DER TOL, P.P.J., VAN DER BEEK, S.S., METZ, J.H.M., NOORDHUIZEN-STRASSEN, E.N., BACK, W., BRAAM, C.R., WEIJS, W.A., 2004, The Effect of Preventive Trimming on Weight Bearing and Force Balance on the Claws of Dairy Cattle, *Journal of Dairy Science* 87, 1732-1738.

VAN DER TOL, P.P.J., METZ, J.H.M., NOORDHUIZEN-STRASSEN, E.N., BACK, W., BRAAM, C.R., WEIJS, W.A., 2005, Frictional forces required for unrestrained locomotion in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 88, 615-624.

VANEGAS, J., OVERTON, M., BERRY, S.L., SISCHO, W.M., 2006, Effect of rubber flooring on claw health in lactating dairy cows housed in free-stall barns. *Journal of Dairy Science* 89, 4251-4258.

VERMUNT, J.J., GREENOUGH, P.R., 1996, Sole haemorrhages in dairy heifers managed under different underfoot and environmental conditions. *British Veterinary Journal* 152, 57-73.

VOKEY, F.J., GUARD, C.L., ERB, H.N., GALTON, D.M., 2001, Effects of alley and stall surfaces on indices of claw and leg health in dairy cattle housed in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science* 84, 2686-2699.

WEIDMANN, E., SCHMID, L., NUSS, K. Entwurf für einen Mess-Stand für Klauen und dessen praktische Umsetzung. *Persönliche Mitteilungen* 2012-2014.



## **9. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben herzlich bedanken:

Herrn Prof. Dr. Karl Nuss für die Überlassung des Themas, die Übernahme des Referats, die Entwicklung des Messstandes, die stets grosse Hilfsbereitschaft und die unzähligen Ratschläge und Anregungen bis zur Fertigstellung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Ueli Braun für die Möglichkeit, die Druck- und Kraftmessungen am Departement für Nutztiere der Universität Zürich durchzuführen und diese Arbeit zu schreiben.

Prof. Dr. Hans Geyer für die Übernahme des Korreferates.

Frau Dr. med. vet. Sonja Hartnack für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Frau med. vet. Eva Weidmann für die Mitentwicklung des Messstandes, die Organisation der Rinder, sowie für die Erklärungen und Hilfestellungen bei der Erstellung der Dissertation.

Herrn Thomas Wiestner für die Unterstützung bei der Analyse der Daten.

Herrn Luciano Schmid für den Bau des Messstandes, sowie die stete Hilfsbereitschaft bei anfallenden Reparaturarbeiten.

Frau Jeanne Peter für das Erstellen der Grafiken.

Herrn Roman Ruf und Frau Miriam Wittenwiler für die Hilfe bei der Durchführung der Messungen.

Frau Dr. med. vet. Evelyne Muggli für die wertvollen Ratschläge und die Unterstützung bei der Erstellung der Dissertation und der Arbeit in der Klinik.

Helene Bruderer, Ronnie Fink und Laura Lüthi für das Korrekturlesen dieser Arbeit und die Unterstützung in den letzten Jahren.

Den Landwirten für das zur Verfügung stellen der Tiere und den Transporteuren, ohne sie wären die Messungen am Tierspital nicht möglich gewesen.

## 11. Anhang

Anhang 1: Angaben über die 30 Rinder, an denen Messungen durchgeführt wurden

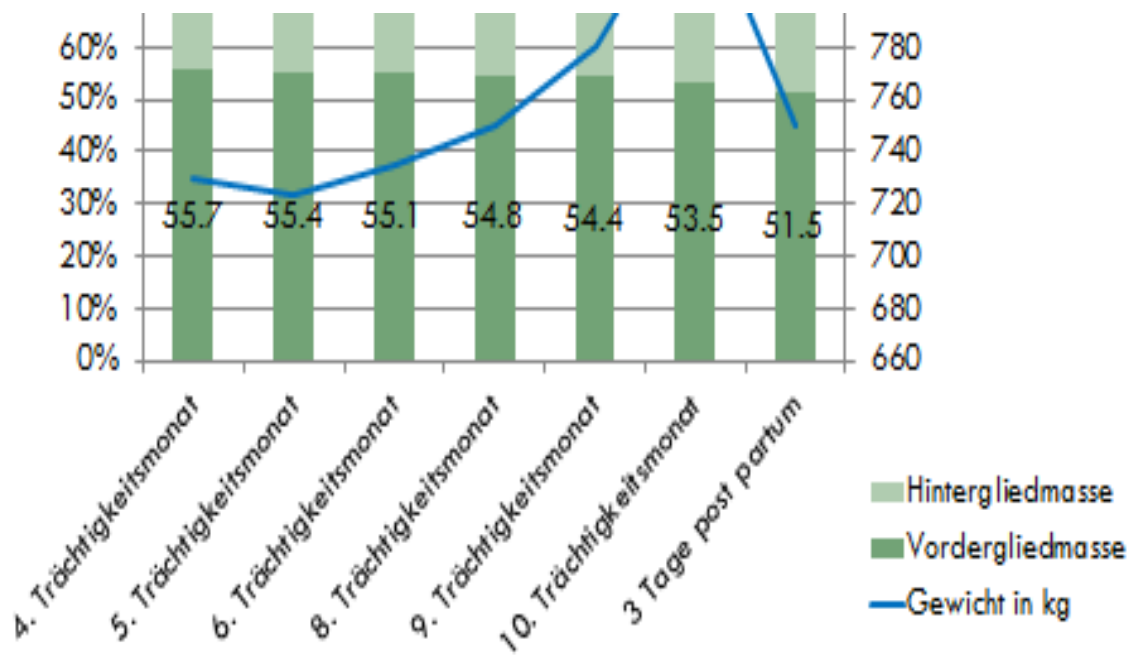
Name	Rasse	Gewicht in kg	Alter	Haltungssystem Heimatbetrieb	Fütterung	Gesundheitszu- stand	Trächtigkeits- dauer
Nina	Braunvieh	340	1j 2m	Laufstall (Spalten, Beton, Gummimatten, Kurzstroh)	Heu, Silage, Gras	Gut	0
Melina	Braunvieh	310	1j 4m	s.o.	s.o.	Gut	0
Valencia	Braunvieh	260	10m 5d	Laufstall (Gummimatten), Anbindehaltung (Kurzstreu)	Heu, Silage	Gut	0
Pam	Braunvieh	340	9m 23d	Laufstall (Gummimatten)	s.o.	Gut	0
Tara	Braunvieh	463	1j 2m	Anbindehaltung (Kurzstroh)	Heu, Silage	Gut	0
Gala	Braunvieh	360	9m 23d	Laufstall (Gummimatten), Anbindehaltung (Lang-/Kurzstroh)	Heu, Silage	Gut	0
Salome	Braunvieh	390	1j 1m	Anbindehaltung (Gummimatten, Kurzstroh)	Heu, Silage	Gut	0
Rihanna	Braunvieh	420	1j	Anbindehaltung (Gummimatten, Kurzstroh)	Heu, Silage	Gut	0
Fatima	Braunvieh	410	1j 2m	Anbindehaltung (Gummimatten, Kurzstroh)	Heu, Silage	Gut	0
Theri	Braunvieh	430	1j 3m	Anbindehaltung (Gummimatten, Kurzstroh)	Heu, Silage	Gut	0
Velvet	Braunvieh	324	10m 1d	Anbindehaltung (Gummimatten, Kurzstroh)	Heu, Silage	Gut	0
Violetta	Braunvieh	306	9m 24d	Anbindehaltung (Gummimatten, Kurzstroh)	Heu, Silage	Gut	0

## Fortsetzung Anhang 1

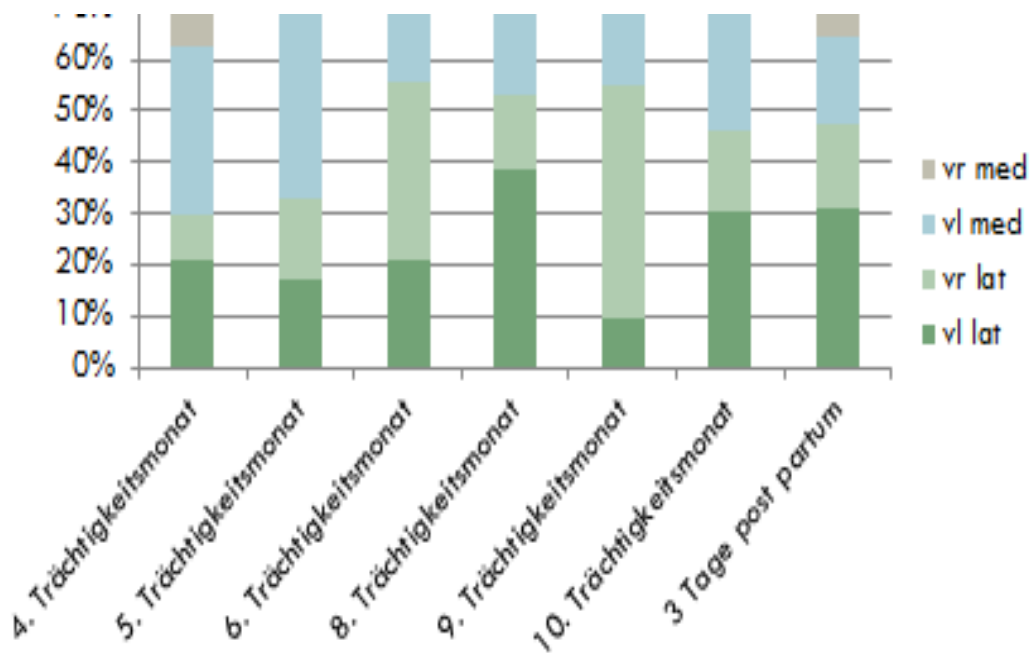
Tundra	Braunvieh	420	1j2m	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Zandra	Braunvieh	350	1j1m	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Jordanja	Braunvieh	410	1j 1m	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Georgia	Braunvieh	380	1j	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Gladis	Braunvieh	330	9m 24d	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Jorina	Braunvieh	368	10m	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	gut	0
Chelsea	Braunvieh	312	10m	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Neila	Braunvieh	320	10m4d	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Waleri	Braunvieh	385	10m 25d	Laufstall (planbe- festigt)	Heu, Silage	Gut	0
Peia	Braunvieh	300	9m8d	Laufstall (planbe- festigt)	Heu, Silage	Gut	0
Edina	Braunvieh	343	1j2m	Laufstall (Langstroh)	Heu, Silage, Gras	Gut	0
Delora	Braunvieh	300	10m 19d	Laufstall (Spalten, Beton, Gummimatten)	Heu, Silage, Gras	Gut	0
Ascona	Braunvieh	340	11m22d	Laufstall (Spalten, Beton, Gummimatten)	Heu, Silage, Gras	Gut	0
Jinxi	Braunvieh	285	9m24d	Laufstall (Spalten, Beton, Gummimatten)	Heu, Silage, Gras	Gut	0
Warwara	Braunvieh	360	10m19d	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Willow	Braunvieh	350	11m2d	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Giulietta	Braunvieh	340	10m5d	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Morena	Braunvieh	290	9m9d	Laufstall (Spalten, Beton)	Heu, Silage	Gut	0
Prisma	Braunvieh	260	9m8d	Anbindehaltung (Lang-/Kurzstroh)	Heu, Silage, Gras	Gut	0
Jara	Braunvieh	360	8m29d	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0
Escape	Braunvieh	290	9m7d	Laufstall (Asphalt)	Heu, Silage	Gut	0

## Anhang 2: Angaben über die 12 Kühe an denen Messungen durchgeführt wurden

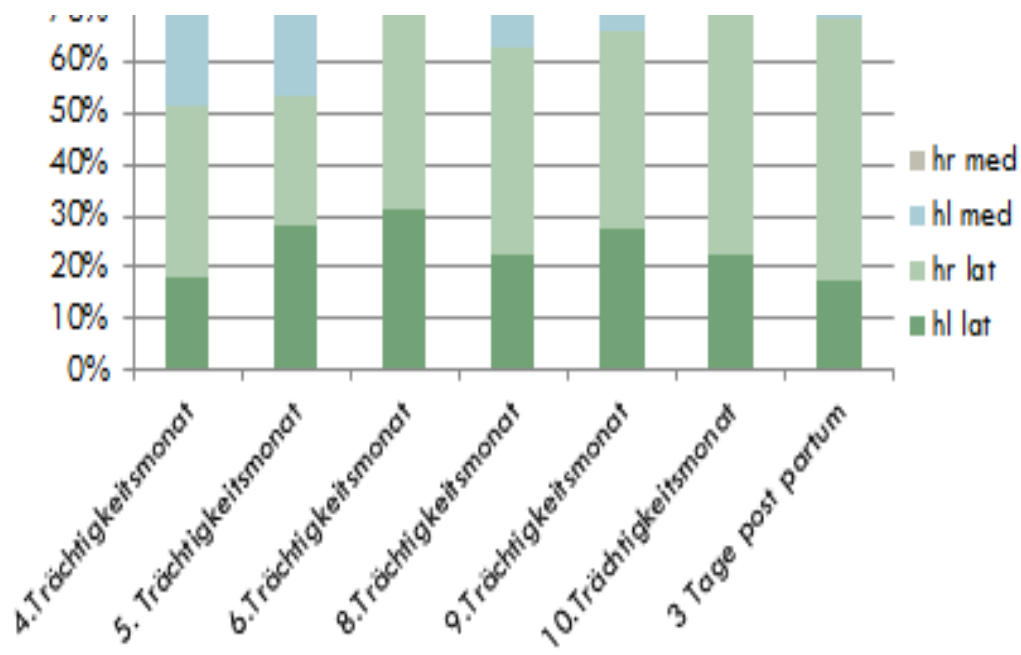
Name	Rasse	Gewicht in kg	Alter	Haltungssystem Hei- matbetrieb	Gesundheitszustand	Trächtigkeit / Laktati- on (2-5 Monate)
Uscha	Braunvieh	580	4J4M	Anbinde- haltung	Gesund	ja
Karin	Braunvieh	660	4J6M	Anbinde- haltung	Gesund	ja
Laria	Braunvieh	748	4J3M	Anbinde- haltung	Gesund	ja
Ladina	Braunvieh	584	4J3M	Anbinde- haltung	Gesund	ja
Gemsli	Braunvieh	660	6J	Anbinde- haltung	Gesund	ja
Jasmin	Braunvieh	670	3J3M	Laufstall	Gesund	ja
Zilli	Braunvieh	690	6J3M	Laufstall	Gesund	ja
Ricola	Braunvieh	724	6J	Anbinde- haltung	Gesund	ja
Jenny	Braunvieh	550	2J11 M	Anbinde- haltung	Lokale Peritonitis, Fremdkör- per am Magneten, wenig Fibrin kaudal der Haube im Ult- raschall darstellbar; Messtag: seit fünf Tagen in Therapie, dünnflüssiger Kot, keine Ko- lik, zweit letztes Mal Antibio- se, Entlassung vier Tage spä- ter	ja
Olivia	Braunvieh	650	5J4M	Anbinde- haltung	Lokale Peritonitis, kein freier Fremdkörper in der Haube, wenig Fibrin kaudal der Hau- be im Ultraschall darstellbar; Messtag: seit zehn Tagen in Therapie, Allgemeinzustand und Fresslust gut, keine The- rapie, Entlassung drei Tage später	ja
Silber	Braunvieh	560	2J6M	Unbekannt	Zitzenverletzung	ja
Bilda	Braunvieh	630	3J3M	Unbekannt	Zitzenverletzung	ja



Anhang 3: Relative Gewichtsverteilung zwischen Vorder- und Hintergliedmassen bei der tierspitaleigenen Kuh



Anhang 4: Relative Gewichtsverteilung innerhalb der Vordergliedmassen bei der tierspitaleigenen Kuh



Anhang 5: Relative Gewichtsverteilung innerhalb der Hintergliedmassen bei der tierspitaleigenen Kuh